

# **INGENIERIA**

# **SISMO-RESISTENTE**

## **PRACTICAS Y EXAMENES UPC**

---

**Ph.D. Genner Villarreal Castro**

**PREMIO NACIONAL ANR 2006, 2007, 2008**

Lima – Perú

2013

# **INGENIERIA SISMO-RESISTENTE Prácticas y Exámenes UPC**

**Primera Edición Mayo 2013**

Diagramación: Víctor Dionicio Torres

Carátula: Edificio Rodrigo de Triana, Hualpén – Chile

Estilo: Roxana Villarreal Gonzáles

Autor – Editor:

© Ph.D. Genner Villarreal Castro

[www.gennervillarrealcastro.blogspot.com](http://www.gennervillarrealcastro.blogspot.com)

Pablo Picasso 567

Urb. El Bosque

Telf: 245706 / 949325065

Trujillo – Perú

Impresión:

Editora & Imprenta Gráfica Norte S.R.L.

[graficanorte@hotmail.com](mailto:graficanorte@hotmail.com)

Oswaldo Herculles 401

Urb. Los Granados

Telf: 402705

Trujillo – Perú

©Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2013-03701

ISBN: 978-612-00-1175-1

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización del Autor.

La Ingeniería Sismo-Resistente, es parte de la dinámica estructural, que estudia el comportamiento de las edificaciones ante la acción sísmica e investiga los métodos de cálculo estructural, que garantizan su buen comportamiento y seguridad estructural ante los sismos.

Por lo general, el dictado de los cursos de Ingeniería Sismo-Resistente, se centran en la descripción teórica y en la resolución de un escaso número de problemas, lo cual dificulta el proceso de aprendizaje, más aún, tratándose de un curso eminentemente práctico y con una diversidad de estructuras.

El presente libro nació, después de comprobar las grandes dificultades mostradas por los alumnos en sus prácticas calificadas y exámenes, así como en la realización de sus trabajos domiciliarios.

Es por ello, que tomé el reto de escribir un libro, que haga más didáctico el proceso de estudio individual, resolviendo en forma seria y con el rigor científico todas las prácticas calificadas y exámenes aplicados por el autor en el período 2011-02 al 2012-02, correspondiente al curso Ingeniería Sismo-Resistente dictado en la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, propiciando, de esta manera, una forma más amena de convivencia con la Ingeniería Sismo-Resistente y conducente a un mejor dominio de la materia.

Este libro es un complemento perfecto a los editados anteriormente por el autor, denominados Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificaciones con Zapatas Aisladas, Interacción Suelo-Estructura en Edificios Altos y Edificaciones con Disipadores de Energía, ganadores de los Premios Nacionales otorgados por la Asamblea Nacional de Rectores en los años 2006, 2007 y 2008, los cuales gozan de gran popularidad en los estudiantes y docentes de ingeniería civil de muchas Universidades nacionales y extranjeras, así como de ingenieros civiles e investigadores de Centros de Investigación en Ingeniería Estructural.

Como base se tomó la experiencia adquirida en el dictado de los cursos de Ingeniería Sismo-Resistente, Ingeniería Antisísmica e Ingeniería Sísmica en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Universidad de San Martín de Porres y Universidad Privada Antenor Orrego.

En mi modesta opinión, el presente libro es único en su género, tanto en la forma de resolución de problemas como en su contenido, que no es una repetición de otros textos, editados anteriormente.

El presente libro consta de 2 Prácticas Calificadas, Examen Parcial y Examen Final por cada ciclo, siendo un total de 3 ciclos.

En la Práctica Calificada N° 1 se evalúa el tema criterios estructurales y geotécnicos en edificaciones.

En el Examen Parcial se evalúan los temas sismicidad y análisis sísmico estático de edificaciones.

En la Práctica Calificada N° 2 se evalúa el tema análisis sísmico dinámico de edificaciones.

En el Examen Final se evalúa el tema interacción suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas o plateas de cimentación.

El presente texto está dirigido a estudiantes de ingeniería civil y docentes que imparten el curso Ingeniería Sismo-Resistente; así como, a ingenieros civiles, postgraduandos e investigadores en el área de estructuras.

Este libro se lo dedico a mis alumnos de Ingeniería Sismo-Resistente, Ingeniería Antisísmica e Ingeniería Sísmica de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Universidad de San Martín de Porres y Universidad Privada Antenor Orrego; quienes con sus consultas me motivaron a escribir el presente libro y con su energía renovada me permitieron culminar con éxito este trabajo.

De manera muy especial, dedico el presente libro a mi sobrino Kouki Villarreal Imamura, quien con su inteligencia, amor y dulzura, fue un soporte invaluable en la culminación de este trabajo, rogando a Dios Todopoderoso podamos seguir juntos aportando al desarrollo integral de la sociedad.

Ph.D. Genner Villarreal Castro  
genner\_vc@rambler.ru

Lima, Mayo del 2013

**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)**  
**PRACTICA CALIFICADA Nº 1**  
**CICLO 2011-02**

**Profesor** : Ph.D. Genner Villarreal Castro  
**Sección** : CI81  
**Duración** : 110 minutos

---

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes (cada pregunta vale 1 punto):

1. ¿Qué entiende por estructura y elementos estructurales?
2. ¿Qué entiende por albañilería simple y cuáles son sus ventajas y desventajas?
3. ¿Qué entiende por albañilería confinada y cuáles son sus ventajas y desventajas?
4. ¿Qué entiende por albañilería armada y cuáles son sus ventajas y desventajas?
5. Defina el sistema de muros estructurales
6. Defina el sistema de muros de ductilidad limitada
7. ¿Es realmente seguro el sistema de muros de ductilidad limitada?
8. ¿Cómo se levantan los muros de ductilidad limitada y cuáles son las ventajas y desventajas de este sistema estructural?
9. ¿El sistema de muros de ductilidad limitada está en crecimiento y los costos se reducen al utilizarlo?
10. ¿Recomendaría utilizar el sistema de muros de ductilidad limitada en zonas de alta sismicidad?

II PARTE:

11. Indicar verdadero (V) o falso (F), justificando sus respuestas: (2.5 puntos)
- i) ¿La carga muerta depende del peso específico del material y del volumen del elemento estructural?
  - ii) ¿Según la Norma de Cargas E020, la carga viva para viviendas es de  $400\text{kg/m}^2$ ?
  - iii) ¿El peso propio de la losa aligerada de 20cm de espesor es  $300\text{kg/m}^2$ ?
  - iv) ¿Si la resistencia de la albañilería con ladrillo artesanal es  $45\text{kg/cm}^2$ , se podría afirmar que su módulo de elasticidad es  $22500\text{kg/cm}^2$ ?
  - v) ¿Si una viga de concreto armado cubre una luz de 6m, podríamos indicar que sus dimensiones son 30cm x 40cm?
- a) FVVFV                      b) VFVVF                      c) VVVVF                      d) VVVVV                      e) N.A.
12. Indicar verdadero (V) o falso (F), justificando sus respuestas: (2.5 puntos)
- i) ¿Los estribos en una viga de concreto armado son menos espaciados en la parte central, debido a que en dicha zona existe mayor fuerza cortante?
  - ii) ¿En un cimiento corrido, se utiliza para el cimiento una proporción C:H de 1:10 + 50% de piedra grande?
  - iii) ¿La función principal de las placas es resistir las cargas verticales de gravedad?
  - iv) ¿El ancho de las viguetas hechas en obra para las losas aligeradas es de 10cm de espesor?

v) ¿En edificaciones con muros de ductilidad limitada, se recomienda reforzar el muro con acero corrugado en los extremos laterales de la malla electrosoldada, con la finalidad de soportar la alta concentración de esfuerzos en dichas zonas?

- a) FFFVF                      b) FVFVV                      c) VVFVF                      d) FFFVV                      e) N.A.

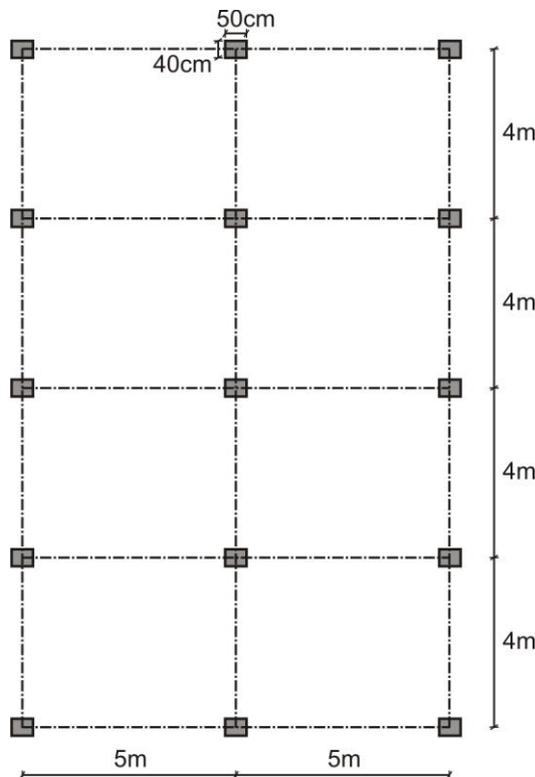
**III PARTE:**

13. Para una edificación aporricada de concreto armado de 5 pisos, destinada para aulas de centro educativo, cuyo plano se muestra en la figura y cuyas características son:

Peso específico del concreto	$\gamma_c = 2,4T / m^3$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20\text{cm}$ (pisos 1, 2, 3 y 4) $e = 17\text{cm}$ (piso 5)
Altura de entrepiso (de piso a piso)	$h = 4\text{m}$
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Profundidad de desplante (contacto con platea)	1m
Espesor de la platea	30cm

Se pide:

- i) Realizar el metrado de cargas, calculando los pesos por pisos (no considerar tabiquería) (3 puntos)
- ii) Calcular las dimensiones de la platea de cimentación, si la capacidad portante del terreno es  $0,5\text{kg/cm}^2$  (1 punto)
- iii) Determinar el asentamiento tolerable que se puede producir en la edificación, si su coeficiente de balasto del terreno es  $1\text{kg/cm}^3$  (1 punto)



# SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA CALIFICADA Nº 1

## CICLO 2011-02

### I PARTE:

1. **ESTRUCTURA.** Es el armazón que le da forma a un edificio, lo sostiene, fija al suelo y hace que las cargas se transmitan a éste. La estructura hace resistente a una edificación ante movimientos sísmicos.

**ELEMENTOS ESTRUCTURALES.** Son aquellos que soportan los esfuerzos y deformaciones que tiene una determinada estructura, siendo parte de ella.

Al diseñar los elementos estructurales, debemos de tener en cuenta las deformaciones permisibles y los esfuerzos admisibles.

2. **ALBAÑILERIA SIMPLE.** Se le conoce también como no reforzada y es la construcción que no tiene dirección técnica, tanto en el diseño como en la construcción de la edificación, absorbiendo los muros las limitadas cargas de la estructura. Su fabricación de la albañilería simple es artesanal y se construye con ladrillos cocidos o adobes o piedra.

Las principales ventajas y desventajas son las mostradas en la tabla 1

Tabla 1

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Gran capacidad de aislamiento acústico y térmico. - Bajo costo de construcción por material de la zona y mano de obra barata.	- Poca resistencia ante las cargas laterales de sismo. - El proceso constructivo es lento. - La edificación es muy pesada.

3. **ALBAÑILERIA CONFINADA.** Es aquella reforzada con confinamientos, es decir, un conjunto de elementos con refuerzos horizontales y verticales, cuya función es la de transmitir las cargas al terreno de fundación. Estos muros están enmarcados por columnas y vigas de refuerzo en sus cuatro lados.

Las edificaciones de albañilería confinada se construyen con ladrillos cerámicos o sílico-calcareos más concreto.

Las ventajas y desventajas del uso y aplicación de este tipo de sistema estructural son las indicadas en la tabla 2

Tabla 2

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Alta resistencia al fuego, porque usa materiales incombustibles. - Es la técnica más utilizada en el medio. - Fácil de conseguir la mano de obra que conozca el sistema. - Posee buenas propiedades térmicas y acústicas. - Es muy resistente a sismos, pudiéndose construir hasta 5 pisos.	- El espesor del muro quita área a los ambientes. - No se podrán realizar modificaciones futuras, como nuevos vanos y otros. - No se puede levantar muros más de 1,20m de altura por día.

4. **ALBAÑILERIA ARMADA.** Es la albañilería reforzada con varillas de acero incorporadas, de tal manera que ambos materiales actúan conjuntamente para resistir los esfuerzos. Se construye con bloques de concreto.

Sus ventajas y desventajas se muestran en la tabla 3

Tabla 3

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta resistencia al fuego, porque usa materiales incombustibles.</li> <li>- No requiere encofrados.</li> <li>- Requiere poco mortero.</li> <li>- Requiere herramientas convencionales.</li> <li>- Es muy resistente ante sismos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gran espesor del muro, lo cual quita área a los ambientes.</li> <li>- No se podrán realizar modificaciones futuras en los muros de carga.</li> <li>- Requiere mano de obra calificada.</li> <li>- Requiere mayor control de obra.</li> </ul>

5. SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES. Este sistema permite construir muros de concreto armado usando encofrados metálicos o de madera.

Los encofrados están separados en paneles, los cuales se anclan uno con otro alrededor de una malla metálica unida a la platea de cimentación, luego se vierte el concreto esperando que fragüe y así se continua el proceso de manera repetitiva.

Se utiliza varilla de acero corrugado en su interior para soportar los esfuerzos de tracción.

Los muros son de corte y soportan la fuerza sísmica y las columnas soportan las cargas verticales de gravedad.

6. SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA. Es un sistema estructural compuesto únicamente por muros o placas de concreto armado de 10 o 12cms de espesor, los cuales están unidos a la losa maciza o aligerada y todo el conjunto con la cimentación, la cual suele ser, generalmente, una platea con la finalidad de controlar los asentamientos y lograr una mejor distribución de esfuerzos sobre el terreno.

Los muros tienen como función:

- a) Soportar cargas verticales, es decir, son portantes siendo las cargas el peso propio de la estructura, denominada carga muerta y las cargas temporales, denominadas vivas, que son producto del uso de la edificación, siendo el sistema de distribución de cargas de la losa hacia los muros y estos hacia la cimentación, la cual debe transmitir hacia el terreno, de ahí la importancia del estudio de mecánica de suelos.
- b) Soportar cargas laterales de sismo y de viento. Las cargas de sismo, dependen de la ubicación geográfica de la edificación, su uso, el tipo de terreno y sistema estructural utilizado. En cambio, la carga de viento depende, fundamentalmente, de la ubicación geográfica del proyecto y de la altura de la edificación.

7. Este tipo de sistema estructural reduce notablemente los desplazamientos laterales producto del sismo, debido a su alta densidad de muros; ya que todos los ambientes están separados por muros estructurales.

Esto implica que se convierte en un sistema estructural seguro ante sismos, pero hay que tener algunas consideraciones especiales en caso de sismos severos como los que están ocurriendo en nuestro país, para ello, muchos investigadores han propuesto reforzar la malla electrosoldada utilizada en el muro con acero corrugado en los extremos del muro, con la finalidad de reducir la concentración de esfuerzos, que es común en este tipo de construcciones.

Asimismo, no se deben de bajar instalaciones por los muros, ya que al ser estructurales, se van a debilitar notoriamente, ni tampoco se permite la eliminación de los muros para hacer ampliaciones de los ambientes, por el mismo principio anterior.

Es decir, se debe de controlar el proceso constructivo y no cometer errores, como los que se observan en algunas edificaciones, en las cuales, para la ampliación, se ha optado por cambiar el sistema estructural por el de albañilería confinada, quedando los primeros pisos con muros de ductilidad limitada y el último de albañilería confinada o de concreto armado aporticado, lo cual es inaceptable.

8. El proceso constructivo de este tipo de estructuras es:

- Se levantan las varillas de fijación con una altura de 0,60m
- Se coloca la malla electrosoldada de 0,30m x 0,30m con esfuerzo de fluencia  $f_y = 4200\text{kg/cm}^2$
- Se coloca el encofrado metálico con sus barras de sujeción y se efectúa el vaciado del concreto con resistencia  $f'_c = 210\text{kg/cm}^2$

Las ventajas y desventajas del uso de tal tipo de sistema estructural se muestran en la tabla 4

Tabla 4

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La superficie de los muros es uniforme y lisa, eliminando la necesidad de revoques o enlucidos.</li> <li>- Los encofrados por ser metálicos tienen mayor durabilidad, resistencia y versatilidad.</li> <li>- Es un sistema económico en edificaciones de gran metraje.</li> <li>- El proceso constructivo es relativamente rápido, prácticamente la mitad del tiempo invertido en una obra similar de albañilería confinada.</li> <li>- En general la obra es más limpia, segura y ordenada. Se reducen los desperdicios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Una vez construidos los muros, estos no pueden ser modificados ni retirados.</li> <li>- El costo inicial del encofrado metálico hace que no sea económico en edificaciones pequeñas.</li> <li>- Para la construcción de los muros se requiere equipo especial (encofrados, mezcladora, vibrador, etc.)</li> <li>- Se requiere personal calificado.</li> <li>- Se requiere mayor control en obra.</li> <li>- Es un sistema estructural en continua investigación, muy diferente al de albañilería confinada.</li> </ul>

9. En nuestro país hay muchos edificios construidos con este sistema estructural e incluso edificios de gran altura, en la cual se ha utilizado sistema estructural de muros de concreto armado, es decir, placas con acero corrugado en los primeros pisos y se ha continuado con muros de ductilidad limitada, algo que la norma lo indica y se debe a la importancia de mejorar su comportamiento ante los sismos.

Pienso que se continuará construyendo, así como se está construyendo en Lima, donde hay edificaciones de hasta 5 pisos, denominados de carácter social, en el cual se han usado muros de hasta 8cms de espesor.

Efectivamente, los costos disminuyen. Por ejemplo, si lo comparamos para una determinada edificación construida con albañilería confinada, estaríamos ahorrando aproximadamente un 25% del presupuesto total de la obra.

10. Si lo recomendaría, siempre y cuando se tenga en cuenta además de lo indicado anteriormente, algunos puntos adicionales que considero importantes, como:

- Incorporar juntas de fragua en los muros, con la finalidad de evitar problemas con las contracciones o dilataciones del material.
- Realizar un correcto vibrado, para evitar cangrejeras y ser muy cuidadosos con la malla, evitando deformaciones de la misma.

- Utilizar aditivos en zonas que lo requieran, con la finalidad de evitar pequeñas fisuras en los muros, que no son estructurales, pero antiestéticos, debido a la temperatura.

Además, considero importante, que nuestras normas de concreto armado y de diseño sismo-resistente deben avanzar en forma paralela respecto a este sistema estructural, analizando su comportamiento en sismos de larga duración, como es el caso de Pisco, que duró casi 3 minutos, en los cuales este sistema tendría algunos inconvenientes, debido a su mismo nombre ductilidad LIMITADA, es decir, habría que hacer algunos ensayos en laboratorio y otros análisis computarizados incorporando el comportamiento real de los materiales hasta su colapso y a partir de ello, pienso que vamos a dar mayor seguridad, por lo pronto podríamos efectuar los análisis sísmicos incorporando un factor de reducción sísmica de 3 y no de 4, como lo indica la norma, lo cual nos daría una mayor confiabilidad estructural.

## II PARTE:

11. i) VERDADERO. Como se sabe la carga muerta es el peso propio del elemento estructural, es decir,

$P_{CM} = \gamma V$ , donde  $\gamma$  es el peso específico del material y  $V$  el volumen del elemento estructural.

- ii) FALSO. La carga viva para viviendas es  $200\text{kg/m}^2$   
 iii) VERDADERO. Se especifica en la Norma de Cargas E020 en la parte de pesos unitarios (anexo 1)  
 iv) VERDADERO. Porque  $E_m = 500f'_m = 500.45 = 22500\text{kg/cm}^2$ , donde  $E_m$  es el módulo de elasticidad de la albañilería y  $f'_m$  la resistencia a la compresión de la albañilería.

- v) FALSO. Porque,  $\frac{L}{12} \leq h \leq \frac{L}{8}$  y  $\frac{h}{2} \leq b \leq \frac{2h}{3}$ , pero para aspectos prácticos, se toma

$h = \frac{L}{10} = \frac{600}{10} = 60\text{cm}$  y  $b = \frac{h}{2} = \frac{60}{2} = 30\text{cm}$ , donde  $L$  es la luz de la viga,  $h$  el peralte y  $b$  la base.

De esta manera, la respuesta es la letra "B"

12. i) FALSO. Son menos espaciados en los extremos, debido a que en dicha zona es donde existe la mayor fuerza cortante.  
 ii) FALSO. Para el cimiento la proporción C:H es 1:10 + 30% de piedra grande.  
 iii) FALSO. La función principal de las placas es resistir las cargas laterales de sismo.  
 iv) VERDADERO. Efectivamente, su espesor es de 10cm.  
 v) VERDADERO. Se recomienda reforzar en dichas zonas para disipar mejor la energía y evitar la alta concentración de esfuerzos.

De esta manera, la respuesta es la letra "D"

## III PARTE:

13. i) Efectuamos el metrado de cargas, calculando los pesos por pisos y para ello utilizamos la Norma de Cargas E020

### PISO 5:

#### CARGA MUERTA:

Losa aligerada	$8.0,28.4,5.3,6 = 36,288 +$
Columnas	$15.2,4.0,4.0,5.4 = 28,800$

Vigas transversales	10.2,4.0,4.0,5.4,5 = 21,600
Vigas longitudinales	12.2,4.0,5.0,5.3,6 = <u>25,920</u>
	112,608

CARGA VIVA:

Techo	0,1.10,5.16,4 = 17,220
	$P_{\text{PISO } 5} = 112,608 + 17,220 = 129,828\text{T}$

PISOS 2, 3 y 4:

CARGA MUERTA:

Losa aligerada	8.0,30.4,5.3,6 = 38,880 +
Columnas	15.2,4.0,4.0,5.4 = 28,800
Vigas transversales	10.2,4.0,4.0,5.4,5 = 21,600
Vigas longitudinales	12.2,4.0,5.0,5.3,6 = <u>25,920</u>
	115,200

CARGA VIVA:

Centro educativo (aulas)	0,25.10,5.16,4 = 43,050
	$P_{\text{PISO } 2} = P_{\text{PISO } 3} = P_{\text{PISO } 4} = 115,200 + 43,050 = 158,250\text{T}$

PISO 1:

CARGA MUERTA:

Losa aligerada	8.0,30.4,5.3,6 = 38,880 +
Columnas	15.2,4.0,4.0,5.5 = 36,000
Vigas transversales	10.2,4.0,4.0,5.4,5 = 21,600
Vigas longitudinales	12.2,4.0,5.0,5.3,6 = <u>25,920</u>
	122,400

CARGA VIVA:

Centro educativo (aulas)	0,25.10,5.16,4 = 43,050
	$P_{\text{PISO } 1} = 122,400 + 43,050 = 165,450\text{T}$

Nótese, que en el metrado para la carga viva no se reducen las áreas de las columnas, por ser pequeña la diferencia y con la intención de esforzar más la estructura.

- ii) Determinamos el área de la platea, a través de la capacidad portante del terreno.

$$\frac{P_{\text{edificio}} + P_{\text{platea}}}{A_{\text{platea}}} \leq q_a \quad \Rightarrow \quad \frac{129,828 + 158,250.3 + 165,450 + 2,4.0,3.A_{\text{platea}}}{A_{\text{platea}}} \leq 5$$

De donde:

$$A_{\text{platea}} \geq 179,9\text{m}^2$$

Asumimos como dimensiones de la platea 11m x 17m que hacen un área de 187m<sup>2</sup>

- iii) Determinamos el asentamiento tolerable, aplicando el principio de comportamiento elástico del terreno a través del coeficiente de balasto, basado en el gráfico de la siguiente página.

Donde:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{edificio}} + P_{\text{platea}} = 129,828 + 158,250.3 + 165,450 + 2,4.0,3.11.17 = 904,668\text{T}$$

$$R = P_{\text{total}} = 904,668\text{T}$$

$$K_z = C_1 A = 1000 \cdot 11.17 = 187000 \text{ T/m}$$

Siendo:

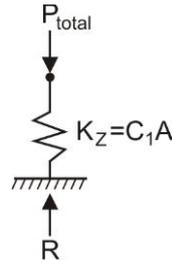
$C_1$  - coeficiente de balasto

A - área de la platea

Además:

$$R = K_z \cdot s_t \quad \Rightarrow \quad s_t = \frac{904,668}{187000} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 4,8 \text{ mm (asentamiento tolerable)}$$

Como se puede apreciar, el asentamiento tolerable es mucho menor que lo indicado en los estudios de mecánica de suelos para suelo flexible, que es el que se tiene en este caso.



**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)**  
**PRACTICA CALIFICADA Nº 1**  
**CICLO 2012-01**

**Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro**  
**Sección : CI81**  
**Duración : 110 minutos**

---

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes (cada pregunta vale 1 punto):

1. Defina losas y describa brevemente cada una de ellas
2. ¿Qué entiende por vigas e indique los tipos más comunes en edificaciones?
3. Defina columnas y describa los tipos de acuerdo al material
4. Defina muros y de acuerdo a su uso describa brevemente cada uno de ellos
5. Defina cimentación e indique los tipos de cimentaciones en edificaciones
6. ¿Qué diferencia existe entre capacidad portante y coeficiente de balasto?
7. ¿Qué entiende por estructuras metálicas y cuáles son sus ventajas y desventajas?
8. ¿Qué entiende por arcos?
9. ¿Qué entiende por cables?
10. ¿Qué entiende por estructuras de paredes delgadas?

II PARTE:

11. Indicar verdadero (V) o falso (F), justificando sus respuestas: (2.5 puntos)
- i) ¿El peso específico del acero estructural es  $2,4T/m^3$ ?
  - ii) ¿Se entiende por carga viva a la carga permanente sobre la estructura?
  - iii) ¿El espesor mínimo de un muro portante de albañilería confinada de 2,4m de altura para la ciudad de Iquitos, según la Norma E070 debe ser de 13cm?
  - iv) ¿Si una losa aligerada es de 20cm de espesor, entonces el ladrillo de techo a usar debe ser de 17cm?
  - v) ¿El coeficiente de balasto para suelos intermedios varía entre  $1kg/cm^3$  y  $6kg/cm^3$ ?
- a) FFFFF      b) FFFVF      c) FFVFF      d) FVFFF      e) N.A.
12. Indicar verdadero (V) o falso (F), justificando sus respuestas: (2.5 puntos)
- i) ¿Una estructura es un armazón que soporta únicamente cargas verticales de gravedad, es decir, muertas y vivas?
  - ii) ¿En una columna, se colocan los estribos menos espaciados en la parte superior e inferior, debido a que producto de un sismo, se generan grandes esfuerzos en dichas zonas?
  - iii) ¿Las zapatas aisladas se deben de utilizar en zonas sísmicas con suelos blandos, debido a que distribuye los esfuerzos por una gran área?
  - iv) ¿Si un muro de corte, se incrementa su longitud 2 veces en la dirección del sismo, se puede decir que su rigidez en flexión en dicha dirección también se incrementa en dos veces?
  - v) ¿En todo proyecto estructural en zona sísmica se exige el control de los desplazamientos laterales?
- a) FVFVV      b) VFFFV      c) VVFVV      d) FVFFF      e) N.A.

### III PARTE:

13. Para una edificación aporticada de concreto armado de 3 pisos, destinada para centro comercial, cuyo plano se muestra en la figura, se pide realizar el metrado de cargas, calculando los pesos por pisos (no considerar tabiquería), siendo: (3 puntos)

Peso específico del concreto  $\gamma_c = 2,4T/m^3$

Losa de techo maciza de espesor  $e = 15\text{cm}$  (pisos 1 y 2)

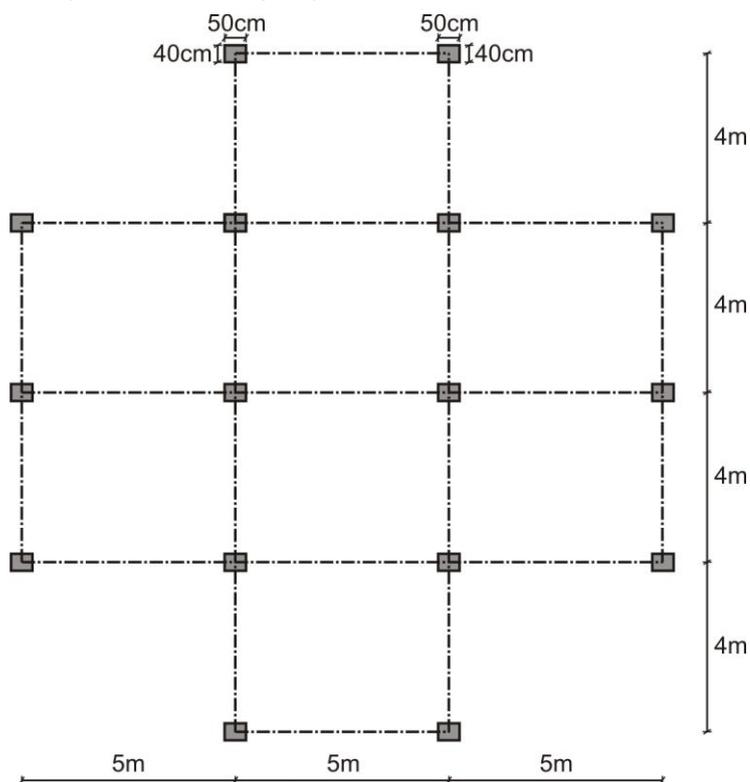
$e = 12\text{cm}$  (piso 3)

Altura de entrepiso (de piso a piso)  $h = 4\text{m}$

Vigas transversales (eje horizontal del plano)  $40\text{cm} \times 50\text{cm}$

Vigas longitudinales (eje vertical del plano)  $50\text{cm} \times 50\text{cm}$

Profundidad de desplante (contacto con zapata)  $1\text{m}$



14. Determinar el asentamiento tolerable que se puede producir en una zona de un edificio aporticado con zapata aislada flexible y excéntrica, de dimensiones  $1,6\text{m} \times 1,6\text{m} \times 0,6\text{m}$ , utilizando el método elástico (geotecnia) y comparar dicho resultado con el analítico, considerando que el peso que se transmite a la zapata es de  $43,08\text{T}$  y el tipo de suelo es una arcilla arenosa con coeficiente de Poisson  $\mu = 0,3$ ; módulo de elasticidad  $E = 4250\text{T}/\text{m}^2$ ; capacidad portante  $q_a = 1,83\text{kg}/\text{cm}^2$  y coeficiente de balasto  $C_1 = 3,10\text{kg}/\text{cm}^3$  (2 puntos)

Monterrico, 03 de abril de 2012

# SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA CALIFICADA Nº 1

## CICLO 2012-01

### I PARTE:

1. **LOSAS.** Son elementos estructurales planos cargados con fuerzas perpendiculares a su plano (cargas vivas y muertas). Separa horizontalmente un nivel o piso de otro, la cual sirve de techo para el primer nivel y de piso para el segundo. Debe garantizar el aislamiento del ruido y del calor. Trabaja a flexión y dependiendo del material a ser utilizado pueden ser flexibles o rígidas.

Las losas pueden ser aligeradas, macizas y nervadas.

**LOSA ALIGERADA.** Es la que se realiza colocando en los intermedios de los nervios estructurales, bloques o ladrillos, con la finalidad de reducir el peso de la estructura. A menos masa, mejora el comportamiento de la estructura ante un sismo.

Las losas aligeradas pueden ser unidireccionales (si las viguetas se orientan solo en una dirección) y bidireccionales (cuando se disponen viguetas en las dos direcciones).

**LOSA MACIZA.** Es la mezcla de concreto y varillas de acero, formando una losa monolítica. A mayor espesor, mayor rigidez pudiendo cubrir mayor distancia entre sus apoyos.

**LOSA NERVADA.** Son losas de concreto reforzado o presforzado, que constan de viguetas o nervios unidos por una losa en la parte superior. Pueden ser construidos in situ o prefabricadas y son apropiadas para cubrir grandes luces, para las que la losa aligerada pierde eficiencia. Son más costosas y se realizan con encofrados especiales.

2. **VIGAS.** Resisten cargas transversales en ángulo recto con respecto al eje longitudinal de la viga. Trabaja en flexión, recibiendo las cargas de las losas transmitiéndolas a las columnas y/o muros. Sus apoyos se encuentran en los extremos.

Las vigas pueden ser: peraltada colgante, peraltada invertida, peraltada colgante e invertida y chata.

3. **COLUMNAS.** Son elementos estructurales que soportan tanto cargas verticales (peso propio), como fuerzas horizontales (sismos y vientos) y trabajan generalmente a flexo-compresión, como también en algunos casos a tracción (columnas atirantadas). La unión de vigas y columnas forman un tipo de sistema estructural denominado aporticado.

De acuerdo al material usado, las columnas pueden ser de madera, acero y concreto.

**COLUMNAS DE MADERA.** Son estructuras ligeras, que soportan cargas limitadas, pudiendo utilizarse también como puntales y entramados.

**COLUMNAS DE ACERO.** Son estructuras esbeltas, debiendo tenerse cuidado con el efecto de pandeo. El costo para este tipo de estructuras dependerá del peso de toda la edificación y el factor tiempo en la construcción es muy favorable por la rapidez del ensamblado. Los tipos de sección transversal son diversos.

**COLUMNAS DE CONCRETO.** Son las más usadas y son elementos robustos en su sección, pero más económicas. Tiene en su interior refuerzos en base a varillas de acero.

4. **MUROS.** Son elementos estructurales que transmiten fundamentalmente cargas verticales y que permiten el cierre de los espacios.

De acuerdo a su uso, los muros pueden ser portantes, de corte, no portante y de contención.

**MUROS PORTANTES.** Su función básica es soportar cargas, en consecuencia, se puede decir que es un elemento sujeto a compresión, pero frente a un sismo deben resistir esfuerzos cortantes, tracciones y compresiones por flexión.

MUROS DE CORTE. Pueden ser de concreto o albañilería, siendo su función estructural la de absorber las fuerzas generadas por sismos y/o fuerzas de viento, disminuyendo los esfuerzos de las columnas.

MUROS NO PORTANTES. No son elementos estructurales, su función básica es aislar o separar, debiendo tener características tales como acústicas y térmicas, impermeable, resistencia a la fricción o impactos y servir de aislantes según lo requerido. También son denominados tabiques.

MUROS DE CONTENCIÓN. Generalmente están sujetos a fricción en virtud de tener que soportar empujes horizontales. Estos muros pueden ser de contención de tierras y/o líquidos.

5. CIMENTACION. Es el elemento estructural que transmite las cargas de la estructura al terreno de fundación, pudiendo ser zapata aislada: centrada, excéntrica y esquinada, zapata combinada, zapata conectada, cimiento corrido, platea de cimentación y pilotes.
6. Las diferencias fundamentales entre capacidad portante y coeficiente de balasto lo describimos en la tabla 1

Tabla 1

PARAMETRO	CAPACIDAD PORTANTE	COEFICIENTE DE BALASTO
Modelación	Carga distribuida por área	Colchón de resortes por área
Simula	Presión estática	Comportamiento elástico
Calcula	Esfuerzo normal	Asentamiento
Unidad	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>3</sup>

7. ESTRUCTURAS METALICAS. Son los elementos o conjunto de elementos de acero, que forman la parte resistente y sustentable de la construcción.

Las ventajas y desventajas del uso de tal tipo de sistema estructural se muestran en la tabla 2

Tabla 2

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No requiere encofrados.</li> <li>- El proceso constructivo es rápido, utilizándose para edificios altos y naves industriales.</li> <li>- La obra es más limpia, segura y ordenada. Se reducen los desperdicios.</li> <li>- La estructura tiene mayor durabilidad, resistencia y versatilidad.</li> <li>- Es muy resistente ante sismos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es buen conductor del fuego y se comporta mal ante incendios.</li> <li>- Requiere de protección ante la corrosión.</li> <li>- Requiere mano de obra calificada.</li> <li>- Requiere mayor control de obra.</li> <li>- No es económica.</li> </ul>

8. ARCOS. Son estructuras que producen reacciones horizontales al estar sometidas a cargas verticales. Tienden a aplanarse al estar sometidos a cargas y deben fijarse contra movimientos horizontales en sus apoyos.

Los arcos pueden construirse con tres, dos o una articulación, o bien, sin articulaciones (caso común en arcos de concreto reforzado).

Los arcos triarticulados de acero se usan para puentes de luces cortas o medias de hasta aproximadamente 180m de longitud. Se usan también para edificios en los que son necesarios grandes luces, como hangares, gimnasios, etc. Los arcos de acero de dos articulaciones son generalmente económicos para puentes de 180m a 270m de longitud; existen algunos con luces excepcionalmente

largas de poco más de 500m de longitud. Los arcos de concreto reforzado sin articulaciones se usan para puentes con luces de 30m a 120m de longitud.

En las construcciones con arcos, los momentos flectores se reducen, porque las reacciones de sus apoyos tienden a flexionar un arco en sentido contrario al de la flexión que producen las cargas hacia abajo.

9. CABLES. Se usan para soportar cargas sobre grandes luces, por ejemplo, en puentes colgantes, teleféricos, etc. Además, se usan como tirantes en grúas, torres de radio y estructuras similares. Los cables, generalmente, se fabrican a partir de alambres de acero de alta resistencia, tal vez con la relación más baja de costo a resistencia de todos los elementos estructurales comunes. Ellos se manejan y montan fácilmente aún en luces muy grandes.
10. ESTRUCTURAS DE PAREDES DELGADAS. Son elementos bidimensionales que tienen una dimensión mucho menor que las otras dos; por ejemplo, las cáscaras, los domos, los reservorios, etc. También se puede considerar a las estructuras de acero de perfiles metálicos.

## II PARTE:

11. i) FALSO. Dicho peso específico corresponde al concreto y para el acero estructural es  $7,8T/m^3$

ii) FALSO. Carga viva es la carga temporal y carga muerta es la carga permanente.

iii) VERDADERO. Porque para Iquitos (zona sísmica 1) el espesor es:

$$t \geq \frac{h}{25} \quad \Rightarrow \quad h \geq \frac{240}{25} = 9,6\text{cm} \quad \therefore \quad \text{Espesor mínimo: } h_{\text{mín}} = 13\text{cm (soga)}$$

iv) FALSO. Debe ser de 15cm de espesor, es decir 5cm menos que el espesor de la losa.

v) FALSO. De acuerdo a los Estudios de Mecánica de Suelos, los coeficientes de balasto son los indicados en la tabla 3

Tabla 3

SUELO	COEFICIENTE DE BALASTO
FLEXIBLE	$C_1 \leq 3\text{kg/cm}^3$
INTERMEDIO	$3\text{kg/cm}^3 < C_1 \leq 6\text{kg/cm}^3$
RIGIDO	$C_1 > 6\text{kg/cm}^3$

De esta manera, la respuesta es la letra "C"

12. i) FALSO. También soporta cargas laterales de sismo y/o viento.

ii) VERDADERO. Porque, de acuerdo a la distribución de esfuerzos en dichas zonas son las más altas.

iii) FALSO. Zapatas aisladas deben de utilizarse preferentemente en suelos rígidos.

iv) FALSO. Como la rigidez (EI) en flexión está en función de la inercia, pues al peraltarse el muro dos veces más en la dirección del sismo, se incrementará en 8 veces su rigidez.

Como ejemplo, asumimos "a" el espesor del muro y "b" la longitud del mismo, obteniéndose:

$$\text{Muro inicial (sin peraltar)} \quad I_1 = \frac{ab^3}{12}$$

$$\text{Muro peraltado 2 veces} \quad I_2 = \frac{a(2b)^3}{12} = 8 \left( \frac{ab^3}{12} \right) = 8I_1$$

v) VERDADERO. Está estipulado en la Norma de Diseño Sismo-Resistente E030 (Artículo 15.1)

De esta manera, la respuesta es la letra "D"

### III PARTE:

13. Efectuamos el metrado de cargas, calculando los pesos por pisos y para ello utilizamos la Norma de Cargas E020

#### PISO 3:

##### CARGA MUERTA:

Losa maciza	$2,4 \cdot (15,5 \cdot 16,4 - 4 \cdot 5 \cdot 4) \cdot 0,12 = 50,170 +$
Columnas	$16 \cdot 2,4 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 3,88 = 29,798$
Vigas transversales	$11 \cdot 2,4 \cdot 0,4 \cdot 0,38 \cdot 4,5 = 18,058$
Vigas longitudinales	$12 \cdot 2,4 \cdot 0,5 \cdot 0,38 \cdot 3,6 = \underline{19,699}$
	117,725

##### CARGA VIVA:

Techo	$0,1 \cdot (15,5 \cdot 16,4 - 4 \cdot 5 \cdot 4) = 17,420$
-------	--

$$P_{\text{PISO } 3} = 117,725 + 17,420 = 135,145T$$

#### PISO 2:

##### CARGA MUERTA:

Losa maciza	$2,4 \cdot (15,5 \cdot 16,4 - 4 \cdot 5 \cdot 4) \cdot 0,15 = 62,712 +$
Columnas	$16 \cdot 2,4 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 3,85 = 29,568$
Vigas transversales	$11 \cdot 2,4 \cdot 0,4 \cdot 0,35 \cdot 4,5 = 16,632$
Vigas longitudinales	$12 \cdot 2,4 \cdot 0,5 \cdot 0,35 \cdot 3,6 = \underline{18,144}$
	127,056

##### CARGA VIVA:

Centro comercial	$0,5 \cdot (15,5 \cdot 16,4 - 4 \cdot 5 \cdot 4) = 87,100$
------------------	--

$$P_{\text{PISO } 2} = 127,056 + 87,100 = 214,156T$$

#### PISO 1:

##### CARGA MUERTA:

Losa maciza	$2,4 \cdot (15,5 \cdot 16,4 - 4 \cdot 5 \cdot 4) \cdot 0,15 = 62,712 +$
Columnas	$16 \cdot 2,4 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 4,85 = 37,248$
Vigas transversales	$11 \cdot 2,4 \cdot 0,4 \cdot 0,35 \cdot 4,5 = 16,632$
Vigas longitudinales	$12 \cdot 2,4 \cdot 0,5 \cdot 0,35 \cdot 3,6 = \underline{18,144}$
	134,736

##### CARGA VIVA:

Centro comercial	$0,5 \cdot (15,5 \cdot 16,4 - 4 \cdot 5 \cdot 4) = 87,100$
------------------	--

$$P_{\text{PISO } 1} = 134,736 + 87,100 = 221,836T$$

Nótese, que en el metrado para la carga viva no se reducen las áreas de las columnas, por ser pequeña la diferencia y con la intención de esforzar más la estructura.

14. METODO ELASTICO. Determinamos el asentamiento tolerable utilizando la relación:

$$s_t = \frac{q_a B (1 - \mu^2)}{E} I_f = \frac{18,3 \cdot 1,6 (1 - 0,3^2)}{4250} \cdot 95 = 0,59 \text{cm}$$

Siendo:

$q_a$  - capacidad portante ( $T/m^2$ )

$B$  - ancho de la cimentación (m)

$\mu$  - coeficiente de Poisson

$E$  - módulo de elasticidad del suelo ( $T/m^2$ )

$I_f$  - factor de forma (cm/m), dependiente del tipo de comportamiento de la zapata, dimensiones y ubicación

METODO ANALITICO. Aplicamos el siguiente proceso:

a) Calculamos el peso que se transmite al terreno.

$$P_{total} = 43,08 + 2,4 \cdot 1,6 \cdot 1,6 \cdot 0,6 = 46,766T = 46766kg$$

b) Determinamos la rigidez  $K_z$  del resorte que simula el comportamiento elástico del suelo.

$$K_z = C_1 A = 3,10 \cdot 160 \cdot 160 = 79360kg/cm$$

c) Calculamos el asentamiento tolerable, considerando  $R = P_{total}$

$$R = K_z s_t \quad \Rightarrow \quad s_t = \frac{46766}{79360} = 0,59cm$$

Como podemos apreciar, ambos métodos nos llevan a un mismo resultado.

**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)**  
**PRACTICA CALIFICADA Nº 1**  
**CICLO 2012-02**

**Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro**  
**Sección : CI81**  
**Duración : 110 minutos**

---

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes (cada pregunta vale 1 punto):

1. ¿Qué entiende por zapata aislada y describa brevemente cada tipo según su ubicación?
2. ¿Qué consideraciones constructivas se deben de tener en cuenta para las zapatas aisladas?
3. Describa y grafique la distribución de esfuerzos en una zapata aislada para los casos de únicamente carga vertical, carga vertical y momento, momentos en las dos direcciones
4. Defina zapata combinada y zapata conectada
5. ¿Qué entiende por cimentación corrida?
6. ¿Qué entiende por platea de cimentación?
7. ¿Qué entiende por cimentación con pilotes?
8. Indique los ratios de la capacidad portante para suelos rígidos, intermedios y flexibles
9. ¿Qué entiende por placas?
10. ¿Con qué relación se calcula el esfuerzo axial máximo en muros portantes de albañilería confinada?

II PARTE:

11. Indicar verdadero (V) o falso (F), justificando sus respuestas: (2.5 puntos)

- i) ¿La carga viva en hospitales para sala de operaciones y pasillos son 400kgf/m<sup>2</sup> y 500kgf/m<sup>2</sup>?
- ii) ¿En un cimiento corrido, se utiliza para el sobrecimiento una proporción C:H 1:8 + 30% de piedra mediana?
- iii) ¿Para que una edificación de albañilería simple o no reforzada sea sismo-resistente, se deberá proyectar la cimentación con concreto ciclópeo, los dinteles de concreto armado y reforzar los muros con malla electrosoldada?
- iv) ¿La evaluación de densidad de muros es obligatoria para edificaciones de albañilería confinada en

zonas sísmicas y se calcula por la relación  $\frac{\sum L.t}{A_p} \geq \frac{ZUSN}{56}$  ?

- v) ¿El valor límite de la distorsión angular para que sea visible la pérdida de verticalidad de edificios altos y rígidos es 1/150?  
a) FFVVF                      b) FFVVV                      c) FVVVF                      d) FFVFF                      e) N.A.

12. Indicar verdadero (V) o falso (F), justificando sus respuestas: (2.5 puntos)

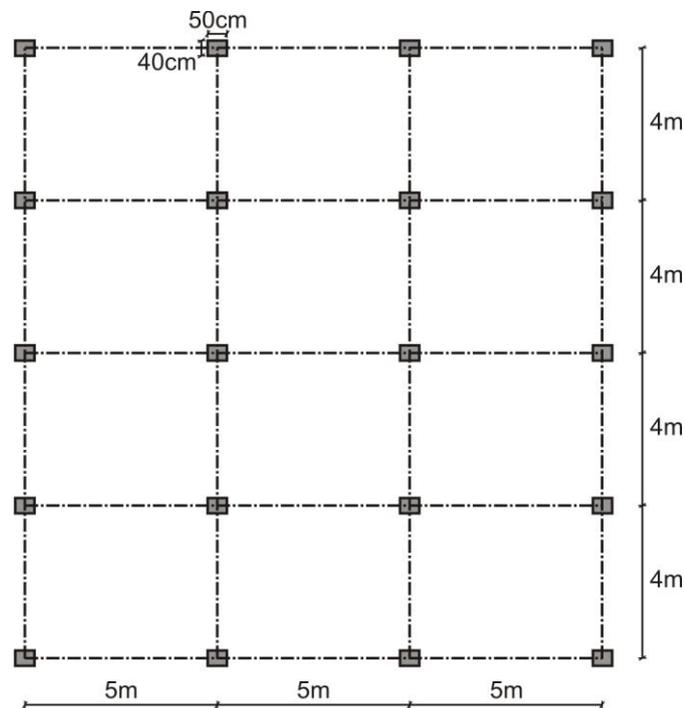
- i) ¿El acero utilizado en la malla electrosoldada para edificaciones con muros de ductilidad limitada posee el mismo diagrama esfuerzo-deformación que el acero corrugado?
- ii) ¿Para que un muro sea confinado, se debe de levantar en forma dentada, colocar bastones de acero corrugado que lo unan con las columnas y vaciar, posteriormente, el concreto en la columna?

- iii) ¿Los recubrimientos en vigas, columnas, losas y placas se hacen con fines estructurales de flexión y compresión, así como para evitar la transmisión de humedad por efectos corrosivos y para evitar la rápida transmisión del calor en el caso de incendios?
- iv) ¿Para edificaciones con muros de ductilidad limitada se utiliza concreto con  $f'_c = 175 \text{kg/cm}^2$  y malla electrosoldada con  $f_y = 3600 \text{kg/cm}^2$ ?
- v) ¿El control de desplazamiento lateral según la Norma E030 debe ser aplicado para edificaciones únicamente ante cargas de viento?
- a) VVVFV      b) VVVFF      c) FVVVFV      d) FVVFF      e) N.A.

**III PARTE:**

13. Para una edificación aporricada de concreto armado de 4 pisos, destinada para salas de lectura de biblioteca, cuyo plano se muestra en la figura, se pide realizar el metrado de cargas, calculando los pesos por pisos (no considerar tabiquería), siendo: (3 puntos)

- Peso específico del concreto  $\gamma_c = 2,4 \text{T/m}^3$
- Losa de techo aligerada de espesor  $e = 20 \text{cm}$  (pisos 1, 2 y 3)  
 $e = 17 \text{cm}$  (piso 4)
- Altura de entrepiso (de piso a piso)  $h = 4 \text{m}$
- Vigas transversales (eje horizontal del plano)  $40 \text{cm} \times 50 \text{cm}$
- Vigas longitudinales (eje vertical del plano)  $50 \text{cm} \times 50 \text{cm}$
- Profundidad de desplante (contacto con zapata)  $1 \text{m}$



14. Para un edificio aporricado de concreto armado, se tiene una zapata aislada de dimensiones  $1,4 \text{m} \times 1,4 \text{m} \times 0,5 \text{m}$  apoyada sobre un suelo con coeficiente de balasto de  $7 \text{kg/cm}^3$  y con un asentamiento tolerable de  $0,3 \text{cm}$  (EMS). Se pide determinar la reacción equivalente del suelo aplicada en el centroide de la zapata e indicar el tipo de suelo. (2 puntos)

# SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA CALIFICADA Nº 1

## CICLO 2012-02

### I PARTE:

1. ZAPATA AISLADA. Elemento estructural de concreto armado cuya función es la de recibir las cargas provenientes de la columna y transmitir las al terreno portante por medio de la zapata, repartiendo así mejor las cargas a través de una mayor área.

De acuerdo a su ubicación las zapatas pueden ser: centrada, excéntrica y esquinada.

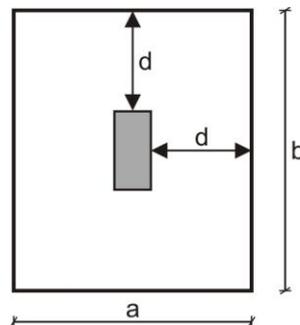
ZAPATA CENTRADA. Cuando la columna está al centro de la zapata. Se usa generalmente para columnas aisladas.

ZAPATA EXCÉNTRICA. Cuando la columna está a un lado del centro de la zapata. Se usa generalmente para columnas aisladas en el perímetro del terreno.

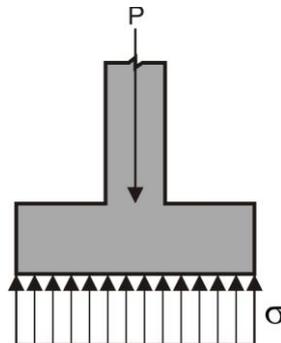
ZAPATA ESQUINADA. Cuando la columna está en una de las esquinas de la zapata. Se usa, generalmente, para columnas aisladas y que se encuentren en las esquinas del terreno a construir.

2. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS. Las principales son:

- Usar preferentemente en suelos rígidos
- Espesor del solado 10cm
- Proporción C:A para el solado de 1:10
- Colocar dados de concreto para nivelar la parrilla de acero corrugado
- Recubrimiento del acero de refuerzo = 7cm
- Resistencia del concreto  $f'_c = 210\text{kg/cm}^2$
- Se recomienda tener volados iguales en las dos direcciones (en la figura, "a" y "b" son los lados de la zapata y "d" la distancia de los volados)



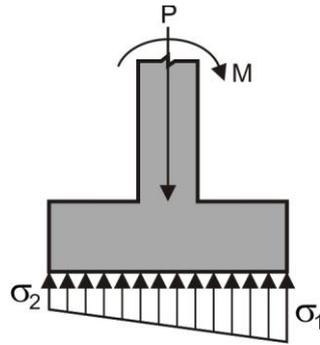
3. ÚNICAMENTE CARGA VERTICAL. Se obtiene una distribución uniforme de esfuerzos.



Donde:

$$\sigma = \frac{P + P_{\text{zapata}}}{ab}$$

CARGA VERTICAL Y MOMENTO. Para este caso, la distribución de esfuerzos es la mostrada en la figura.



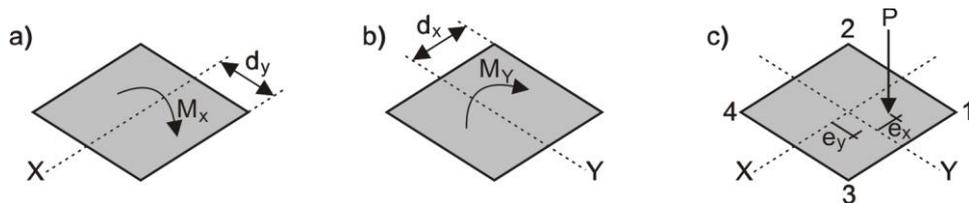
Donde:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} + \frac{6M}{ab^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{A} - \frac{6M}{ab^2}$$

Si el momento es grande, se puede obtener esfuerzos de tracción  $\sigma_2$ , lo cual es imposible. Para ello, se recomienda trabajar con un diagrama triangular que tenga solo compresiones.

MOMENTOS EN LAS DOS DIRECCIONES. Se obtienen esfuerzos diferentes en las 4 esquinas.



Donde:

$$M_x = Pe_y$$

$$M_y = Pe_x$$

Siendo:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} + \frac{M_y}{I_y} d_x + \frac{M_x}{I_x} d_y$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{A} + \frac{M_y}{I_y} d_x - \frac{M_x}{I_x} d_y$$

$$\sigma_3 = \frac{P}{A} - \frac{M_y}{I_y} d_x + \frac{M_x}{I_x} d_y$$

$$\sigma_4 = \frac{P}{A} - \frac{M_y}{I_y} d_x - \frac{M_x}{I_x} d_y$$

Estas fórmulas son válidas, siempre y cuando en las 4 esquinas de la zapata se obtengan compresiones.

En caso se obtenga un esfuerzo negativo, es decir, de tracción, se debe de redistribuir los esfuerzos obteniendo una línea de esfuerzos nulos (eje neutro).

4. ZAPATA COMBINADA. Son aquellas zapatas que tienen dos o más columnas en su estructura o cuando se traslapan dos zapatas.

Su comportamiento es similar al de una viga apoyada en dos o más columnas, con dos volados en los extremos y que recibe una presión uniformemente distribuida o variable. La zapata debe ser rígida, para poder considerar que la presión es uniforme o que varía en forma lineal (trapezio o triángulo).

ZAPATA CONECTADA. Son aquellas zapatas que están conectadas por una viga de cimentación. Se utilizan generalmente cuando el terreno es de baja capacidad portante o cuando se quiere aliviar las presiones de la zapata al terreno.

5. CIMENTACION CORRIDA. Está formada por el cimiento y el sobrecimiento, tiene una función estructural porque recibe la carga de los muros y la transmite al suelo. Es recomendable que la profundidad del cimiento sea un metro como mínimo.

Los sobrecimientos se continúan 10cm o 20cm sobre el nivel del piso terminado, con el fin de proteger al ladrillo (del muro) del contacto directo con el suelo.

6. PLATEA DE CIMENTACION. Son cimentaciones que se utilizan, generalmente, en terrenos de poca capacidad portante, debido a que transmiten las cargas de manera uniforme por toda el área de contacto con el terreno de fundación, controlando las deformaciones en la platea.

7. CIMENTACION CON PILOTES. Se los emplea cuando los estratos resistentes de suelo son muy profundos. El hincado de pilotes permite que se alcancen esos estratos resistentes y pueden ir acoplados a cabezales (tipo platea de cimentación), utilizándose varios pilotes para sustentar a cada unidad de cimentación. El espaciamiento entre pilotes es el indicado en la tabla 1

Tabla 1

LONGITUD (m)	ESPACIAMIENTO ENTRE EJES
$L < 10$	3b
$10 \leq L < 25$	4b
$L \geq 25$	5b

Donde:

b – diámetro o mayor dimensión del pilote.

Para el caso de pilotes por fricción, este espaciamiento no podrá ser menor de 1,20m

8. CAPACIDAD PORTANTE. De acuerdo a los Estudios de Mecánica de Suelos, los ratios para la capacidad portante son los indicados en la tabla 2

Tabla 2

SUELO	CAPACIDAD PORTANTE
FLEXIBLE	$q_a \leq 1,2 \text{kg/cm}^2$
INTERMEDIO	$1,2 \text{kg/cm}^2 < q_a \leq 3 \text{kg/cm}^2$
RIGIDO	$q_a > 3 \text{kg/cm}^2$

9. PLACAS. Son aquellos elementos estructurales que transmiten las cargas a los cimientos, soportan las losas y techos, además de su propio peso y resisten las fuerzas horizontales causadas por un sismo o el viento. La resistencia depende de las condiciones geométricas en cuanto a altura, longitud y espesor.

Las placas no pueden ser modificadas o eliminadas después de ser construidas, tampoco deben de instalarse longitudinalmente tuberías de desagües o de energía, debido a que debilitan su resistencia. Las placas son necesarias en toda edificación en zona sísmica y nacen desde el cimiento hasta el último piso debiendo de estructurarlo; de tal manera que haya compensación de rigidez en ambos sentidos.

10. ESFUERZO AXIAL MAXIMO EN MUROS PORTANTES. De acuerdo a la Norma de Albañilería E070, el esfuerzo axial máximo ( $\sigma_m$ ) producido por la carga de gravedad máxima de servicio ( $P_m$ ), incluyendo el 100% de sobrecarga, será inferior a:

$$\sigma_m = \frac{P_m}{L.t} \leq 0,2f'_m \left[ 1 - \left( \frac{h}{35t} \right)^2 \right] \leq 0,15f'_m$$

Donde:

L - longitud total del muro, incluyendo las columnas

t - espesor del muro

$f'_m$  - resistencia a la compresión de la albañilería

h - altura libre entre los elementos horizontales de arriostre o altura efectiva de pandeo

En caso, que no se cumpla esta expresión habrá que mejorar la calidad de la albañilería, aumentar el espesor del muro, transformarlo en concreto armado o ver la manera de reducir la magnitud de la carga axial.

## II PARTE:

11. i) FALSO. Según la Norma de Cargas E020, para hospitales, la carga viva para sala de operaciones es  $300\text{kgf/m}^2$  y para pasillos de  $400\text{kgf/m}^2$
- ii) FALSO. Para el sobrecimiento la proporción C:H es 1:8 + 25% de piedra mediana.
- iii) VERDADERO. Porque, dicho reforzamiento ha tenido resultados muy favorables en los últimos sismos en el Perú.
- iv) VERDADERO. De acuerdo a la Norma de Albañilería E070, la evaluación de la densidad mínima de muros, se debe de realizar para cada dirección del edificio, mediante la relación:

$$\frac{\sum L.t}{A_p} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

Donde:

$\sum L.t$  - área de corte de los muros reforzados

L - longitud total del muro (incluyendo columnas si existiesen)

t - espesor efectivo del muro

$A_p$  - área de la planta típica

Z - zona sísmica del proyecto

U - coeficiente de uso e importancia de la edificación

S - factor del suelo

N - número de pisos

v) FALSO. De acuerdo a la Norma de Suelos y Cimentaciones E050, el valor límite de distorsión angular para que sea visible la pérdida de verticalidad de edificios altos y rígidos es 1/250

De esta manera, la respuesta es la letra "A"

12. i) FALSO. De acuerdo, a los ensayos de laboratorio, los diagramas esfuerzo-deformación para la malla electrosoldada y acero corrugado son diferentes.

ii) VERDADERO. Es la forma correcta de confinar un muro.

iii) VERDADERO. Efectivamente, es por lo indicado y está normado cada recubrimiento en la Norma de Concreto Armado E060

iv) FALSO. Se debe de utilizar concreto con  $f'_c = 210\text{kg/cm}^2$  y acero corrugado con  $f_y = 4200\text{kg/cm}^2$

v) FALSO. La Norma de Diseño Sismo-Resistente E030 es aplicado a edificaciones en zonas sísmicas y no para casos de viento. En consecuencia, el control de desplazamiento lateral es una exigencia de la Norma E030 para edificaciones en zonas sísmicas.

De esta manera, la respuesta es la letra "D"

### III PARTE:

13. Efectuamos el metrado de cargas, calculando los pesos por pisos y para ello utilizamos la Norma de Cargas E020

#### PISO 4:

##### CARGA MUERTA:

Losa aligerada	$12.0,28.4,5.3,6 = 54,432 +$
Columnas	$20.2,4.0,4.0,5.4 = 38,400$
Vigas transversales	$15.2,4.0,4.0,5.4,5 = 32,400$
Vigas longitudinales	$16.2,4.0,5.0,5.3,6 = \underline{34,560}$
	159,792

##### CARGA VIVA:

Techo  $0,1.15,5.16,4 = 25,420$

$$P_{\text{PISO } 4} = 159,792 + 25,420 = 185,212\text{T}$$

#### PISOS 2 y 3:

##### CARGA MUERTA:

Losa aligerada	$12.0,30.4,5.3,6 = 58,320 +$
Columnas	$20.2,4.0,4.0,5.4 = 38,400$
Vigas transversales	$15.2,4.0,4.0,5.4,5 = 32,400$
Vigas longitudinales	$16.2,4.0,5.0,5.3,6 = \underline{34,560}$
	163,680

##### CARGA VIVA:

Biblioteca (salas de lectura)  $0,3.15,5.16,4 = 76,260$

$$P_{\text{PISO } 2} = P_{\text{PISO } 3} = 163,680 + 76,260 = 239,940\text{T}$$

#### PISO 1:

##### CARGA MUERTA:

Losa aligerada  $12.0,30.4,5.3,6 = 58,320 +$

Columnas	20.2,4.0,4.0,5.5 = 48,000
Vigas transversales	15.2,4.0,4.0,5.4,5 = 32,400
Vigas longitudinales	16.2,4.0,5.0,5.3,6 = <u>34,560</u>
	173,280

CARGA VIVA:

Biblioteca (salas de lectura) 0,3.10,5.16,4 = 76,260

$$P_{\text{PISO 1}} = 173,280 + 76,260 = 249,540\text{T}$$

Nótese, que en el metrado para la carga viva no se reducen las áreas de las columnas, por ser pequeña la diferencia y con la intención de esforzar mas la estructura.

14. Determinamos la rigidez  $K_z$  del resorte que simula el comportamiento elástico del suelo.

$$K_z = C_1 A = 7.140.140 = 137200\text{kg/cm}$$

Ahora, determinamos la reacción equivalente del suelo.

$$R = K_z s_t = 137200.0,3 = 41160\text{kg} = 41,16\text{T}$$

El tipo de suelo es rígido, debido al dato de coeficiente de balasto y al asentamiento tolerable.

**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)**  
**EXAMEN PARCIAL**  
**CICLO 2011-02**

**Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro**  
**Sección : CI81**  
**Duración : 170 minutos**

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes (cada pregunta vale 1 punto):

1. ¿Qué entiende por ingeniería sismo-resistente, sismo y sismología?
2. De acuerdo a los datos sismológicos, relacione en una tabla las características de los sismos, el número de sismos por año y su magnitud
3. Mencione los sismos más intensos ocurridos en el mundo
4. Mencione las líneas maestras de investigación en ingeniería sismo-resistente
5. Defina foco, epicentro e indique los tipos de foco de acuerdo a su profundidad focal

II PARTE:

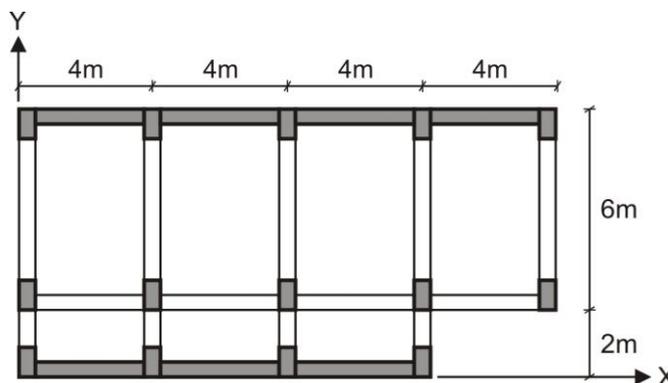
6. En un sismograma se ha leído que la diferencia en el tiempo de llegada de las ondas P y S es 20 segundos. El material por el que viajan las ondas tiene las siguientes características:  $E = 30\text{GPa}$ ,  $\mu = 0,24$  y  $\rho = 10\text{kN}\cdot\text{s}^2 / \text{m}^4$ . Calcular la distancia a la que se produjo el sismo. (3 puntos)

$$C_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \qquad C_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\mu)}}$$

7. Se tiene un edificio de ocho pisos, cuya planta se muestra en la figura. Los muros tienen 25cm de espesor y son de concreto armado. Las columnas y vigas también son de concreto y tienen 30cm x 60cm. La losa de techo tiene 20cm de espesor y es maciza. No considerar tabiquería.

Todos los pisos tienen una altura de 3m. La profundidad de desplante (contacto con la platea de cimentación) es 0,8m. El edificio está ubicado en Arequipa, donde el suelo es arcilloso con una capacidad portante de  $2\text{kg}/\text{cm}^2$  y será destinado para vivienda.

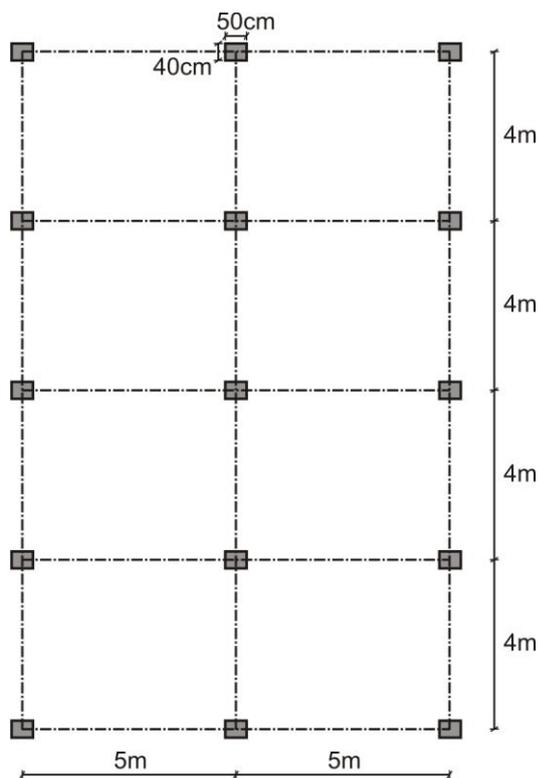
Determinar las fuerzas sísmicas en cada piso en las direcciones X e Y (5 puntos)



### III PARTE:

8. Se tiene una edificación de 3 pisos y destinada para aulas de centro educativo, proyectada en la ciudad de Trujillo, con sistema estructural aporricado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico estático, considerando el suelo rígido por la Norma E030 y:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100\text{T}/\text{m}^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706\text{T}/\text{m}^2$
Coefficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20\text{cm}$ (pisos 1 y 2) $e = 17\text{cm}$ (piso 3)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 143,925T Piso 2 = 136,725T Piso 3 = 116,913T
Zapatas aisladas de dimensiones	1,3m x 1,2m x 0,4m
Profundidad de desplante (contacto con zapata)	1m



Se pide:

- i) Determinar el período fundamental y el factor de amplificación sísmica C (0.5 puntos)
- ii) Calcular la fuerza cortante en la base (0.5 puntos)
- iii) Determinar las fuerzas sísmicas por la altura del edificio (0.5 puntos)
- iv) Calcular la excentricidad accidental (0.5 puntos)
- v) Modelar con el SAP2000 y determinar los desplazamientos máximos del edificio y las fuerzas internas máximas, indicando donde ocurre (3 puntos)

Desplazamiento y fuerza interna	Común (sismo X+)	Común (sismo Y+)
$X_{m\acute{a}x}$ (edificio)		
$Y_{m\acute{a}x}$ (edificio)		
$N_{m\acute{a}x}$		
$V_{m\acute{a}x}$		
$M_{m\acute{a}x}$		

vi) Efectuar el control de desplazamientos para Sismo X+ y Sismo Y+ e indicar si es necesario reforzar la estructura (2 puntos)

**Monterrico, 06 de octubre de 2011**

## SOLUCIONARIO DE EXAMEN PARCIAL

### CICLO 2011-02

#### I PARTE:

1. INGENIERIA SISMO-RESISTENTE. Es parte de la dinámica estructural, que estudia el comportamiento de las edificaciones ante la acción sísmica e investiga los métodos de cálculo estructural, que garantizan su buen comportamiento y seguridad estructural ante los sismos.

SISMO. Proviene de la palabra griega "seismos", que significa vibración. Por sismo se entiende al movimiento de la superficie de la tierra y, en particular, el de la base de las edificaciones.

SISMOLOGIA. Es la ciencia que estudia a los sismos. Desde el punto de vista de sismicidad de las edificaciones, la parte aplicativa más importante es la Ingeniería Sismológica, que se dedica a estudiar los fenómenos sísmicos para estructuras sismo-resistentes.

2. De acuerdo a datos sismológicos, el número total de sismos que ocurren en el mundo, vienen a ser decenas de miles por cada año, pudiéndolo esquematizar en la tabla 1

Tabla 1

CARACTERISTICAS DEL SISMO	NUMERO DE SISMOS POR AÑO	MAGNITUD
1. Sismos catastróficos	1 - 2	> 8
2. Sismos con daños regionales	10 – 15	7 – 8
3. Sismos con daños locales	100 – 150	6 – 7
4. Sismos moderados	< 1000	5 – 6
5. Sismos leves	7000 – 10000	4 – 5
6. Sismos registrados instrumentalmente	> 10000	< 4

3. De acuerdo a los datos históricos, tenemos los mostrados en la tabla 2

Tabla 2

AÑO	LUGAR	VICTIMAS
1556	Shansi (China)	830000
1737	Calcutá (India)	300000
1783	Calabria (Italia)	100000
1923	Bujta Sagami (Japón)	100000
1927	Nan Shan (China)	200000

Durante los últimos 50 años, podemos citar a los sismos más intensos, el de México (1957); Agadir (Marruecos, 1960); Concepción – Valparaíso (Chile, 1960); Skopje (Yugoslavia, 1963); Anchorage (Alaska, 1964); Niigata (Japón, 1964); Tashkent (Uzbekistán, 1966); Caracas (Venezuela, 1967); Chimbote (Perú, 1970); San Francisco (EEUU, 1971); México (1985); Spitak (Armenia, 1987); Kobe (Japón, 1995); Nazca (Perú, 1996); Ocoña (Perú, 2001); Pisco (Perú, 2007); Haití (2010); Chile (2010) y Miyagi (Japón, 2011)

4. Principalmente son dos y a partir de ellas se elaboran las áreas de investigación.
  - Elaboración de métodos estadísticos y probabilísticos de zonificación de posibles lugares de ocurrencia de sismos severos y su intensidad.
  - Elaboración de métodos de cálculo sísmico, que garanticen un buen comportamiento de las edificaciones en zonas sísmicas, minimizando sus daños y otorgando la mayor seguridad estructural.

5. FOCO. Es el lugar exacto donde ocurre el sismo y se le denomina también hipocentro.  
 EPICENTRO. Es la proyección del foco hacia la corteza terrestre.

De acuerdo a la profundidad focal, los focos pueden ser:

Tabla 3

TIPO DE FOCO	PROFUNDIDAD FOCAL
Superficial	$h \leq 60\text{km}$
Intermedio	$60\text{km} < h \leq 350\text{km}$
Profundo	$h > 350\text{km}$

II PARTE:

6. Calculamos las velocidades de las ondas P y S

$$C_P = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}} = \sqrt{\frac{30 \cdot 10^9 (1-0,24)}{10 \cdot 10^3 (1+0,24)(1-2 \cdot 0,24)}} = 1880,42\text{m/s}$$

$$C_S = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{30 \cdot 10^9 \cdot 1}{10 \cdot 10^3 \cdot 2(1+0,24)}} = 1099,85\text{m/s}$$

En consecuencia, como la distancia es la misma, pero la onda S llega 20seg después que la onda P, esto es, la diferencia de tiempo es:

$$t_S - t_P = 20 \quad \dots\dots\dots (a)$$

Además:

$$C_P = \frac{d}{t_P} \quad \Rightarrow \quad d = 1880,42t_P \quad \dots\dots\dots (b)$$

$$C_S = \frac{d}{t_S} \quad \Rightarrow \quad d = 1099,85t_S \quad \dots\dots\dots (c)$$

Iguálamos (b) y (c), obteniendo:

$$1880,42t_P = 1099,85t_S$$

$$t_S = 1,7097t_P \quad \dots\dots\dots (d)$$

Reemplazamos (d) en (a) y obtenemos:

$$t_P = 28,18\text{s}$$

$$t_S = 48,18\text{s}$$

En consecuencia:

$$d = 1880,42(28,18) = 52990,23\text{m} = 52,99\text{km}$$

7. Efectuamos el metrado de cargas, calculando los pesos por pisos de acuerdo a la Norma E030, la cual indica que se debe tomar el 25% de la carga viva.

METRADO DE CARGAS PARA SISMO:

PISO 8:

CARGA MUERTA:

Losa maciza  $2,4 \cdot (8 \cdot 16 - 3,85 \cdot 2) \cdot 0,2 = 57,744 +$

Columnas	$14.2,4.0,3.0,6.2,8 = 16,934$
Vigas transversales	$2.2,4.0,3.0,4.3,55 = 2,045$
	$2.2,4.0,3.0,4.3,7 = 2,131$
Vigas longitudinales	$4.2,4.0,3.0,4.1,4 = 1,613$
	$5.2,4.0,3.0,4.4,8 = 6,912$
Muros (placas)	$3.2,4.0,25.3,55.2,8 = 17,892$
	$4.2,4.0,25.3,7.2,8 = \underline{24,864}$
	130,135

CARGA VIVA:

Techo	$0,1.(8.16-3,85.2).0,25 = 3,008$
-------	----------------------------------

$$P_{\text{PISO } 8} = 130,135 + 3,008 = 133,143\text{T}$$

PISOS 2, 3, 4, 5, 6 y 7:

CARGA MUERTA:

Losa maciza	$2,4.(8.16-3,85.2).0,2 = 57,744 +$
Columnas	$14.2,4.0,3.0,6.2,8 = 16,934$
Vigas transversales	$2.2,4.0,3.0,4.3,55 = 2,045$
	$2.2,4.0,3.0,4.3,7 = 2,131$
Vigas longitudinales	$4.2,4.0,3.0,4.1,4 = 1,613$
	$5.2,4.0,3.0,4.4,8 = 6,912$
Muros (placas)	$3.2,4.0,25.3,55.2,8 = 17,892$
	$4.2,4.0,25.3,7.2,8 = \underline{24,864}$
	130,135

CARGA VIVA:

Vivienda	$0,2.(8.16-3,85.2).0,25 = 6,015$
----------	----------------------------------

$$P_{\text{PISO } 2} = P_{\text{PISO } 3} = P_{\text{PISO } 4} = P_{\text{PISO } 5} = P_{\text{PISO } 6} = P_{\text{PISO } 7} = 130,135 + 6,015 = 136,150\text{T}$$

PISO 1:

CARGA MUERTA:

Losa maciza	$2,4.(8.16-3,85.2).0,2 = 57,744 +$
Columnas	$14.2,4.0,3.0,6.3,6 = 21,773$
Vigas transversales	$2.2,4.0,3.0,4.3,55 = 2,045$
	$2.2,4.0,3.0,4.3,7 = 2,131$
Vigas longitudinales	$4.2,4.0,3.0,4.1,4 = 1,613$
	$5.2,4.0,3.0,4.4,8 = 6,912$
Muros (placas)	$3.2,4.0,25.3,55.3,6 = 23,004$
	$4.2,4.0,25.3,7.3,6 = \underline{31,968}$
	147,190

CARGA VIVA:

Vivienda	$0,2.(8.16-3,85.2).0,25 = 6,015$
----------	----------------------------------

$$P_{\text{PISO } 1} = 147,190 + 6,015 = 153,205\text{T}$$

Nótese, que en el metrado, se ha considerado una carga viva por toda el área de la losa, con la finalidad de esforzar mas la estructura.

Ahora, determinamos la distribución de las cargas para ambas direcciones, siguiendo lo indicado en la Norma E030 para el análisis sísmico estático.

SISMO X(+):

a) Período fundamental:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{24}{60} = 0,4s < 0,7s$$

Factor de amplificación sísmica:

$$C = 2,5 \left( \frac{T_P}{T} \right) = 2,5 \left( \frac{0,6}{0,4} \right) = 3,75 \quad \Rightarrow \quad C = 2,5$$

b) Fuerza cortante en la base:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0,4 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 1,2}{0,75 \cdot 6} \cdot 1103,248 = 294,20T$$

$$\frac{C}{R} = \frac{2,5}{4,5} = 0,555 > 0,125 \quad \text{OK}$$

c) Distribución de la fuerza sísmica por la altura:

$$F_1 = \frac{153,205.3}{153,205.3 + 136,150 \cdot (6 + 9 + 12 + 15 + 18 + 21) + 133,143.24} \cdot 294,20$$

$$F_1 = \frac{459,615}{14683,197} \cdot 294,20 = 9,21T$$

$$F_2 = \frac{136,150.6}{14683,197} \cdot 294,20 = 16,37T$$

$$F_3 = \frac{136,150.9}{14683,197} \cdot 294,20 = 24,55T$$

$$F_4 = \frac{136,150.12}{14683,197} \cdot 294,20 = 32,73T$$

$$F_5 = \frac{136,150.15}{14683,197} \cdot 294,20 = 40,92T$$

$$F_6 = \frac{136,150.18}{14683,197} \cdot 294,20 = 49,10T$$

$$F_7 = \frac{136,150.21}{14683,197} \cdot 294,20 = 57,29T$$

$$F_8 = \frac{133,143.24}{14683,197} \cdot 294,20 = 64,03T$$

SISMO Y(+):

a) Período fundamental:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{24}{35} = 0,686s < 0,7s$$

Factor de amplificación sísmica:

$$C = 2,5 \left( \frac{T_p}{T} \right) = 2,5 \left( \frac{0,6}{0,686} \right) = 2,186 < 2,5$$

b) Fuerza cortante en la base:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0,4 \cdot 1,0 \cdot 2,186 \cdot 1,2}{0,75 \cdot 8} \cdot 1103,248 = 192,94T$$

$$\frac{C}{R} = \frac{2,186}{6} = 0,364 > 0,125 \quad \text{OK}$$

c) Distribución de la fuerza sísmica por la altura:

$$F_1 = \frac{153,205 \cdot 3}{14683,197} \cdot 192,94 = 6,04T$$

$$F_2 = \frac{136,150 \cdot 6}{14683,197} \cdot 192,94 = 10,73T$$

$$F_3 = \frac{136,150 \cdot 9}{14683,197} \cdot 192,94 = 16,10T$$

$$F_4 = \frac{136,150 \cdot 12}{14683,197} \cdot 192,94 = 21,47T$$

$$F_5 = \frac{136,150 \cdot 15}{14683,197} \cdot 192,94 = 26,83T$$

$$F_6 = \frac{136,150 \cdot 18}{14683,197} \cdot 192,94 = 32,20T$$

$$F_7 = \frac{136,150 \cdot 21}{14683,197} \cdot 192,94 = 37,57T$$

$$F_8 = \frac{133,143 \cdot 24}{14683,197} \cdot 192,94 = 42,00T$$

### III PARTE:

8. i) Período fundamental:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{12}{35} = 0,343s < 0,7s$$

Factor de amplificación sísmica:

$$C = 2,5 \left( \frac{T_p}{T} \right) = 2,5 \left( \frac{0,4}{0,343} \right) = 2,915 \quad \Rightarrow \quad C = 2,5$$

ii) Fuerza cortante en la base:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0,4 \cdot 1,5 \cdot 2,5 \cdot 1,0}{8} \cdot 397,563 = 74,54T$$

$$\frac{C}{R} = \frac{2,5}{8} = 0,312 > 0,125 \quad \text{OK}$$

iii) Distribución de la fuerza sísmica por la altura:

$$F_1 = \frac{143,925.4}{143,925.4 + 136,725.8 + 116,913.12} \cdot 74,54 = \frac{575,7}{3072,456} \cdot 74,54 = 13,967T$$

$$F_2 = \frac{136,725.8}{3072,456} \cdot 74,54 = 26,536T$$

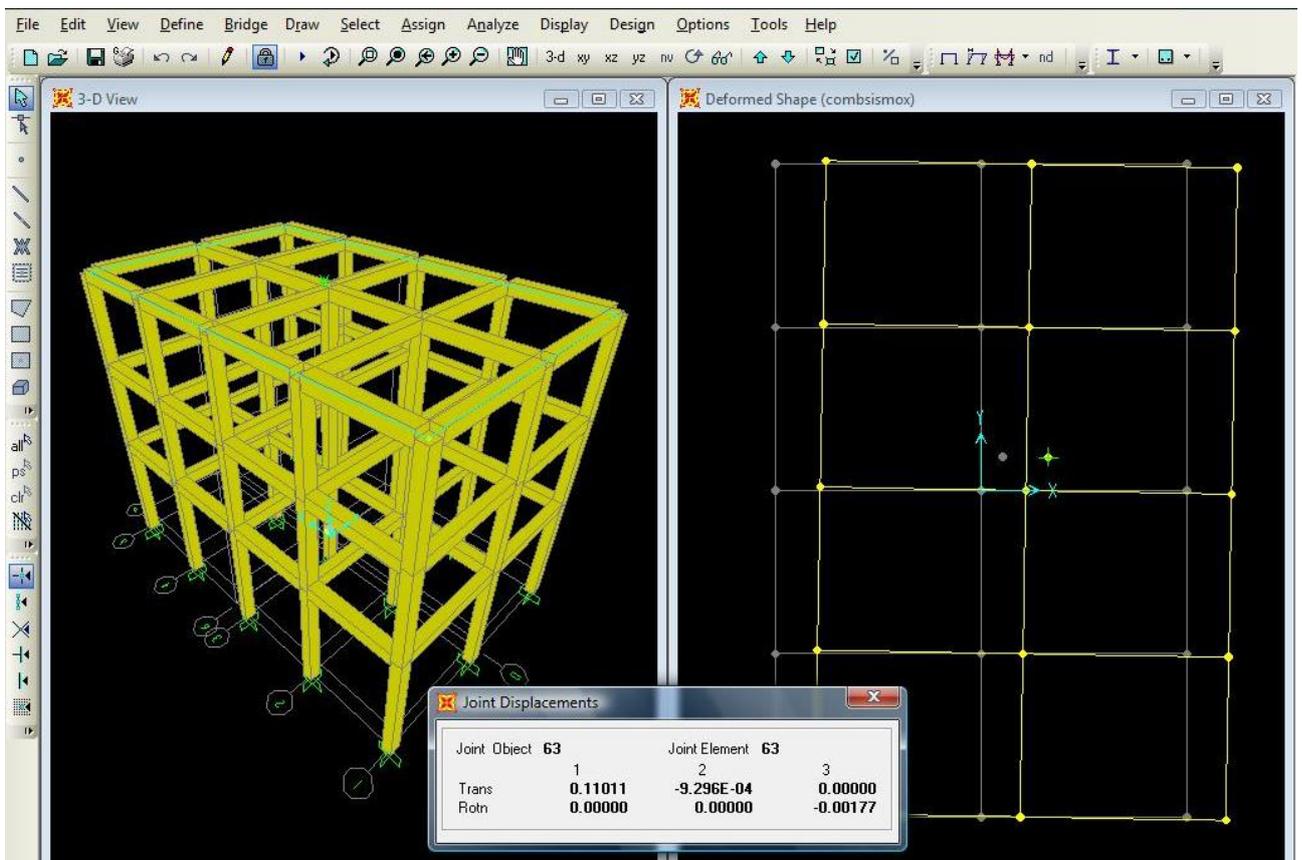
$$F_3 = \frac{116,913.12}{3072,456} \cdot 74,54 = 34,037T$$

iv) Excentricidad accidental:

$$e_x = 0,05 \cdot 10,5 = 0,525m$$

$$e_y = 0,05 \cdot 16,4 = 0,82m$$

v) En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado y la obtención del desplazamiento máximo en el centro de masa del piso 3 para COMBSISMOX



Los desplazamientos y fuerzas internas máximas, se muestran en la tabla 4

Tabla 4

Desplazamiento y fuerza interna	Común (sismo X+)	Común (sismo Y+)
$X_{\text{máx}}$ (edificio)	110,11mm	-
$Y_{\text{máx}}$ (edificio)	-	121,00mm
$N_{\text{máx}}$	11,60T	13,16T
$V_{\text{máx}}$	6,56T	5,53T
$M_{\text{máx}}$	17,79T.m	14,32T.m

Para ambas direcciones del sismo, los desplazamientos máximos se originan en el último piso del edificio y las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso.

De acuerdo a la Norma E030, las fuerzas de diseño para la dirección Y serán 1,25 veces los valores obtenidos (V y M) en la tabla 4, debido a que todos los pórticos en esa dirección superan el 30% de la fuerza cortante horizontal.

Se recuerda, que para el diseño, se requiere previamente cumplir con el control de desplazamientos laterales en ambas direcciones.

vi) Control de desplazamientos laterales:

Tabla 5: Sismo X+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
3	110,11mm	0,005	SI
2	88,49mm	0,009	NO
1	51,75mm	0,010	NO

Tabla 6: Sismo Y+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
3	121,00mm	0,005	SI
2	100,58mm	0,009	NO
1	64,57mm	0,013	NO

De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en ambas direcciones, siendo necesario reforzar la estructura en ambos sentidos.

**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)**
  
**EXAMEN PARCIAL**
  
**CICLO 2012-01**

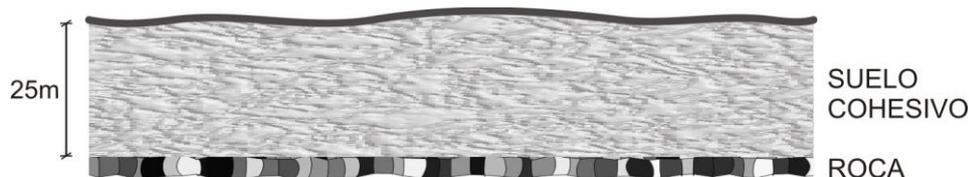
**Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro**  
**Sección : CI81**  
**Duración : 170 minutos**

**I PARTE:** Indicar la correspondencia, escribiendo en el recuadro libre de la tabla 2, la característica, relación o definición que lo relaciona con la tabla 1, justificando sus respuestas: (5 puntos)

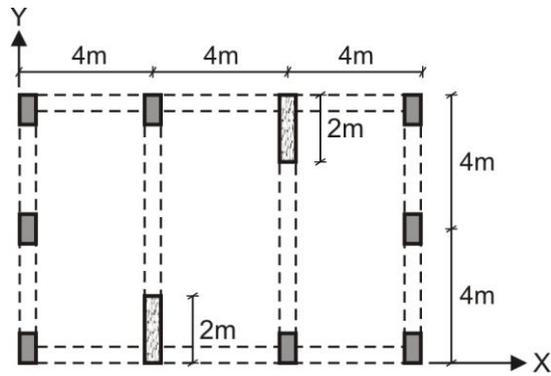
Tabla 1		Tabla 2	
1	Peligro	Modelación estructural deficiente	
2	Riesgo	Pérdidas humanas y materiales	
3	Desastre natural	> fuerza de la naturaleza	
4	Resistencia de diseño	Peligro x vulnerabilidad x costo	
5	Vulnerabilidad	Amenaza	

**II PARTE:**

6. Se tiene un perfil de suelo, constituido por suelo cohesivo, cuya resistencia al corte típico en condición no drenada es de 40kPa. El estrato tiene 25m de espesor sobre roca.
- i) Clasifique el perfil de acuerdo a la Norma E030 y establezca los valores de  $S$  y  $T_p$  que le corresponde. (1.5 puntos)
  - ii) Si el estrato fuera ahora de 20m ¿Cuál sería el tipo de perfil que le corresponde y cuáles serían sus valores de  $S$  y  $T_p$ ? (1.5 puntos)



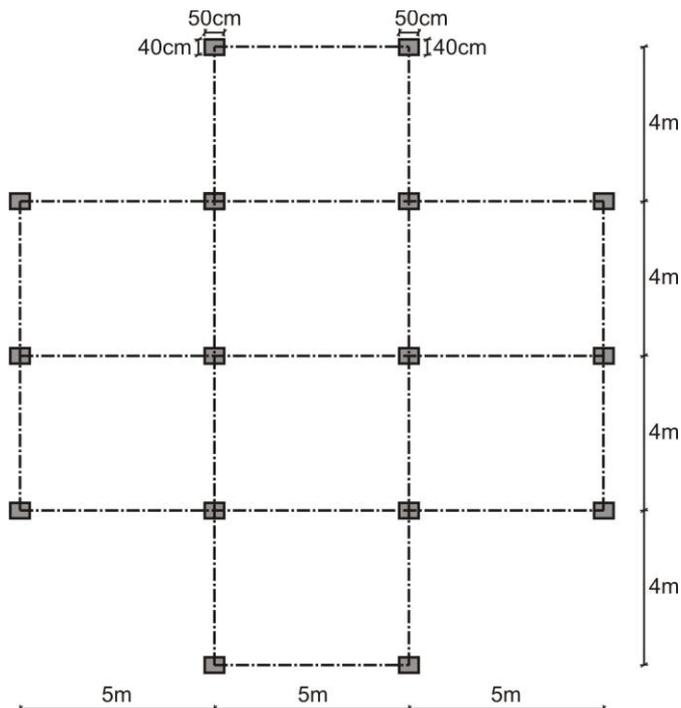
7. Se tiene un edificio de cinco pisos que en la dirección Y está conformado por dos pórticos a los extremos y otros dos que están conformados por una columna y un muro de albañilería. Los muros tienen 25cm de espesor y en el primer piso se levanta desde el nivel 0,10m porque está apoyado en un sobrecimiento armado. Las columnas y vigas son de concreto armado y tienen 25cm x 40cm. La losa del techo es maciza y tiene 20cm de espesor. No considerar tabiquería. Todos los pisos tienen una altura de 2,8m. La profundidad de desplante (contacto con la platea de cimentación) es 0,6m. El edificio está ubicado en Chiclayo, donde el suelo es arenoso, con una capacidad portante de  $1\text{kg/cm}^2$  y será destinado para vivienda. Determinar las fuerzas sísmicas en cada piso en las direcciones X e Y (5 puntos)



**III PARTE:**

8. Se tiene una edificación de 4 pisos y destinada para centro comercial, proyectada en la ciudad de Lima, con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico estático, considerando el suelo rígido por la Norma E030 y:

- |  |  |
|--|--|
| Resistencia a la compresión del concreto       | $f'_c = 2100T/m^2$   |
| Módulo de elasticidad del concreto             | $E_c = 2173706T/m^2$   |
| Coefficiente de Poisson del concreto           | $\mu_c = 0,2$  |
| Losa de techo maciza de espesor                | $e = 15cm$ (pisos 1, 2 y 3)<br>$e = 12cm$ (piso 4)                               |
| Vigas transversales (eje horizontal del plano) | 40cm x 50cm  |
| Vigas longitudinales (eje vertical del plano)  | 50cm x 50cm  |
| Pesos para el análisis sísmico                 | Piso 1 = 178,286T<br>Piso 2 = 170,606T<br>Piso 3 = 170,606T<br>Piso 4 = 122,080T |
| Zapatas aisladas de dimensiones                | 1,5m x 1,4m x 0,5m   |
| Profundidad de desplante (contacto con zapata) | 1m   |



Se pide:

- i) Determinar el período fundamental y el factor de amplificación sísmica C (0.5 puntos)
- ii) Calcular la fuerza cortante en la base (0.5 puntos)
- iii) Determinar las fuerzas sísmicas por la altura del edificio (0.5 puntos)
- iv) Calcular la excentricidad accidental (0.5 puntos)
- v) Modelar con el SAP2000 y determinar los desplazamientos máximos del edificio y las fuerzas internas máximas, indicando donde ocurre (3 puntos)

Desplazamiento y fuerza interna	Común (sismo X+)	Común (sismo Y+)
$X_{m\acute{a}x}$ (edificio)		
$Y_{m\acute{a}x}$ (edificio)		
$N_{m\acute{a}x}$		
$V_{m\acute{a}x}$		
$M_{m\acute{a}x}$		

- vi) Efectuar el control de desplazamientos para Sismo X+ y Sismo Y+ e indicar si es necesario reforzar la estructura (2 puntos)

**Monterrico, 08 de mayo de 2012**

# SOLUCIONARIO DE EXAMEN PARCIAL

## CICLO 2012-01

### I PARTE:

1. Se entiende por PELIGRO a los procesos o fenómenos sísmicos, que pueden causar pérdidas de vidas o heridos, daños a la propiedad, alteración social y económica y degradación del medio-ambiente, en un área determinada y en un período de tiempo dado. En este caso, se convierten en una AMENAZA.
2. RIESGO es la probabilidad de las consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas futuras, resultantes de la interacción del peligro natural o inducido y las condiciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos al peligro sísmico.

Convencionalmente se usa la relación  $\text{RIESGO} = \text{PELIGRO} \times \text{VULNERABILIDAD}$

Según el Foro Ciudades para la Vida se usa  $\text{RIESGO} = \text{PELIGRO} \times \text{VULNERABILIDAD} \times \text{COSTO}$

3. Un DESASTRE NATURAL es un enorme obstáculo para el desarrollo sostenible, debido a las grandes pérdidas humanas y materiales; pudiendo tener impactos regionales, nacionales o globales.
4. Para que una edificación no falle, debe de ser diseñada de tal manera que supere a la fuerza de la naturaleza, es por ello, que en los códigos de diseño se ponderan los factores debido a su ubicación, uso, importancia, suelo y otros.
5. Una modelación estructural deficiente incrementa la vulnerabilidad física de la edificación y si es correctamente modelada reduce su vulnerabilidad.

De acuerdo a lo anteriormente explicado, las respuestas correctas de la tabla 2 son:

Tabla 1		Tabla 2	
1	Peligro	Modelación estructural deficiente	5
2	Riesgo	Pérdidas humanas y materiales	3
3	Desastre natural	> fuerza de la naturaleza	4
4	Resistencia de diseño	Peligro x vulnerabilidad x costo	2
5	Vulnerabilidad	Amenaza	1

### II PARTE:

6. i) De acuerdo a los datos proporcionados y en concordancia con el artículo 6 de la Norma E030, inciso 6.2(c), el suelo es cohesivo medianamente compacto y pertenece al perfil  $S_3$  de suelo flexible, siendo para este caso  $S=1,4$  y  $T_p=0,9s$  (ver tabla 2 de la Norma E030)  
ii) Como el estrato ahora es de 20m y en concordancia con los incisos 6.2(a) y 6.2(c), dichas características se encuentran en la fase intermedia de los incisos anteriormente indicados, es decir, corresponde a un suelo intermedio, cuyo perfil es  $S_2$ , siendo para este caso  $S=1,2$  y  $T_p=0,6s$
7. Efectuamos el metrado de cargas, calculando los pesos por pisos de acuerdo a la Norma E030, la cual indica que se debe tomar el 25% de la carga viva.

### METRADO DE CARGAS PARA SISMO:

#### PISO 5:

#### CARGA MUERTA:

Losa maciza	$2,4 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 0,2 = 46,080 +$
Columnas	$8 \cdot 2,4 \cdot 0,25 \cdot 0,4 \cdot 2,6 = 4,992$
Muros	$2 \cdot 1,8 \cdot 0,25 \cdot 2,2 \cdot 4 = 4,320$
Vigas transversales	$2 \cdot 2,4 \cdot 0,25 \cdot 0,2 \cdot 3,625 = 0,870$

	2.2,4.0,25.0,2.7,625 =	1,830
Vigas longitudinales	4.2,4.0,25.0,2.3,4 =	1,632
	2.2,4.0,25.0,2.7,35 =	<u>1,764</u>
		61,488

CARGA VIVA:

Techo	0,1.12.8.0,25 =	2,400
-------	-----------------	-------

$$P_{\text{PISO } 5} = 61,488 + 2,400 = 63,888\text{T}$$

PISOS 2, 3 y 4:

CARGA MUERTA:

Losa maciza	2,4.12.8.0,2 =	46,080 +
Columnas	8.2,4.0,25.0,4.2,6 =	4,992
Muros	2.1,8.0,25.2.2,4 =	4,320
Vigas transversales	2.2,4.0,25.0,2.3,625 =	0,870
	2.2,4.0,25.0,2.7,625 =	1,830
Vigas longitudinales	4.2,4.0,25.0,2.3,4 =	1,632
	2.2,4.0,25.0,2.7,35 =	<u>1,764</u>
		61,488

CARGA VIVA:

Vivienda	0,2.12.8.0,25 =	4,800
----------	-----------------	-------

$$P_{\text{PISO } 2} = P_{\text{PISO } 3} = P_{\text{PISO } 4} = 61,488 + 4,800 = 66,288\text{T}$$

PISO 1:

CARGA MUERTA:

Losa maciza	2,4.12.8.0,2 =	46,080 +
Columnas	8.2,4.0,25.0,4.3,2 =	6,144
Muros	2.1,8.0,25.2.2,3 =	4,140
Vigas transversales	2.2,4.0,25.0,2.3,625 =	0,870
	2.2,4.0,25.0,2.7,625 =	1,830
Vigas longitudinales	4.2,4.0,25.0,2.3,4 =	1,632
	2.2,4.0,25.0,2.7,35 =	<u>1,764</u>
		62,460

CARGA VIVA:

Vivienda	0,2.12.8.0,25 =	4,800
----------	-----------------	-------

$$P_{\text{PISO } 1} = 62,460 + 4,800 = 67,260\text{T}$$

Nótese, que en el metrado, se ha considerado una carga viva por toda el área de la losa, con la finalidad de esforzar mas la estructura.

Por condición del problema, para los muros del primer piso, se ha metrado hasta el nivel 0,10m debido al sobrecimiento armado en dicha zona, algo típico, que se hace con la finalidad de proteger al ladrillo del muro del contacto directo con el terreno y evitar la transmisión de humedad y sales.

Se debe indicar, que dicha estructura no es sismo-resistente, teniendo un grave problema al apoyar vigas sobre muros y no están unidas a columnas en el otro extremo, lo cual es incorrecto.

Ahora, determinamos la distribución de las cargas para ambas direcciones, siguiendo lo indicado en la Norma E030 para el análisis sísmico estático.

SISMO X(+):

a) Período fundamental:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{14}{35} = 0,4s < 0,7s$$

Factor de amplificación sísmica:

$$C = 2,5 \left( \frac{T_p}{T} \right) = 2,5 \left( \frac{0,9}{0,4} \right) = 5,625 \quad \Rightarrow \quad C = 2,5$$

b) Fuerza cortante en la base:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0,4 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 1,4}{0,75 \cdot 8} \cdot 330,01 = 77,00T$$

$$\frac{C}{R} = \frac{2,5}{6} = 0,416 > 0,125 \quad \text{OK}$$

c) Distribución de la fuerza sísmica por la altura:

$$F_1 = \frac{67,260 \cdot 2,8}{67,260 \cdot 2,8 + 66,288 \cdot (5,6 + 8,4 + 11,2) + 63,888 \cdot 14} \cdot 77,00 = \frac{188,328}{2753,217} \cdot 77,00 = 5,27T$$

$$F_2 = \frac{66,288 \cdot 5,6}{2753,217} \cdot 77,00 = 10,38T$$

$$F_3 = \frac{66,288 \cdot 8,4}{2753,217} \cdot 77,00 = 15,57T$$

$$F_4 = \frac{66,288 \cdot 11,2}{2753,217} \cdot 77,00 = 20,76T$$

$$F_5 = \frac{63,888 \cdot 14}{2753,217} \cdot 77,00 = 25,02T$$

SISMO Y(+):

Como los muros no están confinados, implica, que solo trabajarán como portantes y no de corte, siendo absorbida la fuerza sísmica únicamente por los pórticos, de esta manera, se debe de clasificar al sistema estructural como aporticado e irregular en la dirección Y

En consecuencia, el período fundamental, la fuerza cortante en la base y la distribución de las fuerzas sísmicas por la altura serán las mismas que en la dirección X

III PARTE:

8. i) Período fundamental:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{16}{35} = 0,457s < 0,7s$$

Factor de amplificación sísmica:

$$C = 2,5 \left( \frac{T_p}{T} \right) = 2,5 \left( \frac{0,4}{0,457} \right) = 2,188 < 2,5$$

ii) Fuerza cortante en la base:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0,4 \cdot 1,3 \cdot 2,188 \cdot 1,0}{0,75 \cdot 8} \cdot 641,578 = 121,66T$$

Se asume  $R=0,75 \cdot 8=6$  por ser irregular (esquina entrante)

$$\frac{C}{R} = \frac{2,188}{6} = 0,364 > 0,125 \quad \text{OK}$$

iii) Distribución de la fuerza sísmica por la altura:

$$F_1 = \frac{178,286.4}{178,286.4 + 170,606 \cdot (8 + 12) + 122,080.16} \cdot 121,66 = \frac{713,144}{6078,544} \cdot 121,66 = 14,273T$$

$$F_2 = \frac{170,606.8}{6078,544} \cdot 121,66 = 27,317T$$

$$F_3 = \frac{170,606.12}{6078,544} \cdot 121,66 = 40,976T$$

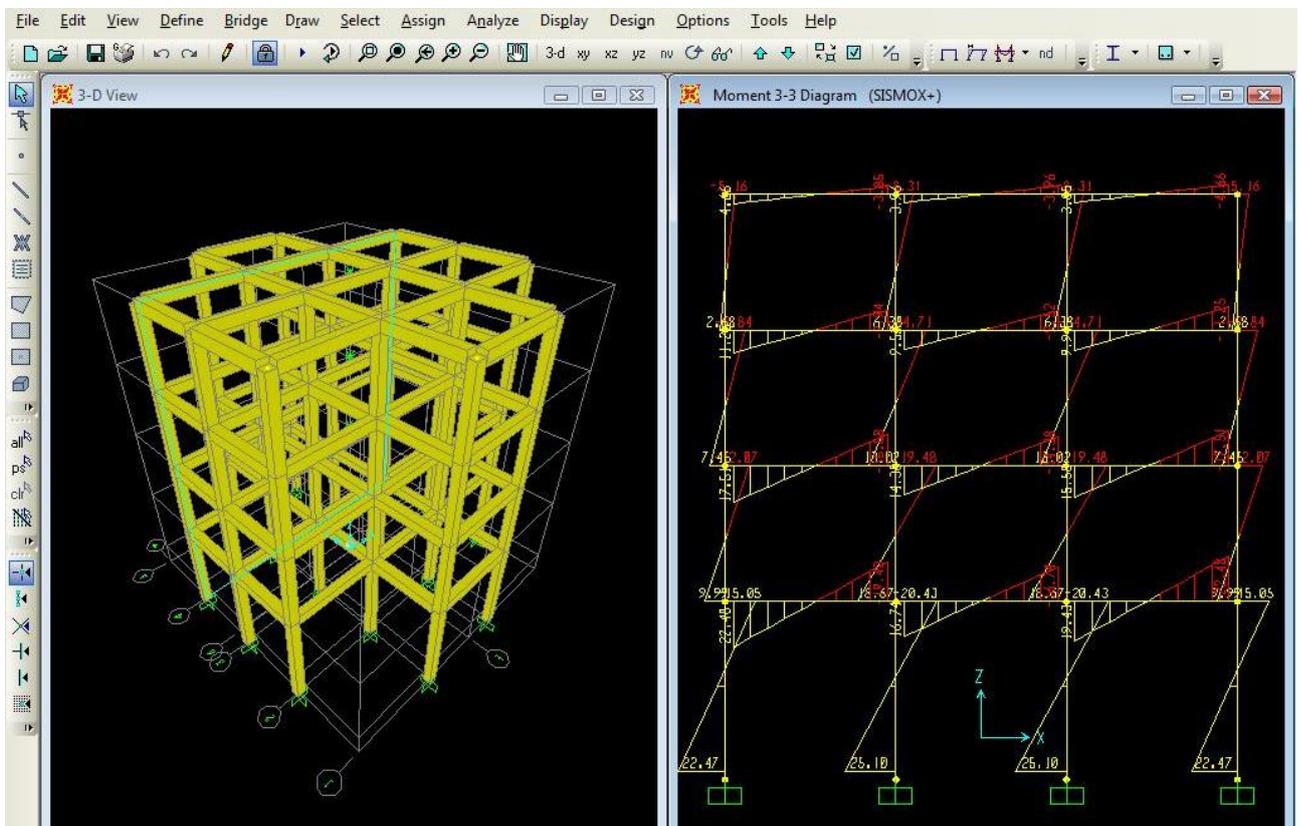
$$F_4 = \frac{122,080.16}{6078,544} \cdot 121,66 = 39,094T$$

iv) Excentricidad accidental:

$$e_x = 0,05 \cdot 15,5 = 0,775m$$

$$e_y = 0,05 \cdot 16,4 = 0,82m$$

v) En la siguiente figura, se muestra en edificio modelado en 3D y la obtención del momento flector máximo para SISMOX



Los desplazamientos y fuerzas internas máximas, se muestran en la tabla 3

Tabla 3

Desplazamiento y fuerza interna	Común (sismo X+)	Común (sismo Y+)
$X_{m\acute{a}x}$ (edificio)	157,88mm	-
$Y_{m\acute{a}x}$ (edificio)	-	176,61mm
$N_{m\acute{a}x}$	23,68T	28,39T
$V_{m\acute{a}x}$	9,54T	9,54T
$M_{m\acute{a}x}$	25,10T.m	23,72T.m

Para ambas direcciones del sismo, los desplazamientos máximos se originan en el último piso del edificio, la fuerza axial máxima en las columnas del primer piso, la fuerza cortante máxima en las columnas del segundo piso y el momento flector máximo en las columnas del primer piso.

De acuerdo a la Norma E030, las fuerzas de diseño (V y M) para los pórticos centrales (más largos) en la dirección Y serán 1,25 veces su valor, debido a que en esa dirección superan el 30% de la fuerza cortante horizontal.

Se recuerda, que para el diseño, se requiere previamente cumplir con el control de desplazamientos laterales en ambas direcciones.

vi) Control de desplazamientos laterales:

Tabla 4: Sismo X+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
4	157,88mm	0,004	SI
3	139,22mm	0,008	NO
2	105,17mm	0,011	NO
1	59,57mm	0,012	NO

Tabla 5: Sismo Y+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
4	176,61mm	0,005	SI
3	158,08mm	0,009	NO
2	123,15mm	0,012	NO
1	76,05mm	0,015	NO

De los resultados obtenidos, se desprende, que no cumple en ambas direcciones, siendo necesario reforzar la estructura en ambos sentidos.

**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)**
  
**EXAMEN PARCIAL**
  
**CICLO 2012-02**

**Profesor** : Ph.D. Genner Villarreal Castro  
**Sección** : CI81  
**Duración** : 170 minutos

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes (cada pregunta vale 1 punto):

1. ¿Qué entiende por vulnerabilidad física y educativa?
2. Describa las etapas del ciclo de un desastre
3. Mencione dos diferencias entre magnitud e intensidad
4. ¿Qué entiende por silencio sísmico? ¿Se puede predecir un sismo?
5. ¿Qué entiende por amplificación y atenuación?
6. ¿Qué entiende por diafragma rígido?
7. ¿El control de desplazamientos laterales según la Norma E030 para edificaciones con muros de ductilidad limitada es 0,007?
8. ¿Cómo influye el tipo de suelo en el análisis sísmico?

II PARTE:

9. De acuerdo a los modelos de Winkler E. y Pasternak P.L., determine los coeficientes de compresión elástica uniforme  $C_1$  y de desplazamiento elástico uniforme  $C_2$  para una edificación con platea de cimentación, apoyada sobre un suelo tipo arcillo arenoso, con una potencia de 3m, módulo de elasticidad  $E = 3500T/m^2$  y coeficiente de Poisson  $\mu = 0,25$ . Indique el tipo de suelo y como se distribuirá en la platea los coeficientes  $C_1$  y  $C_2$  (3 puntos)
10. Los valores de la siguiente tabla son los desplazamientos promedio de los entrepisos, determinados multiplicando los valores obtenidos en el programa de análisis por  $0,75R$  conforme se especifica en la Norma de Diseño Sismo-Resistente E030

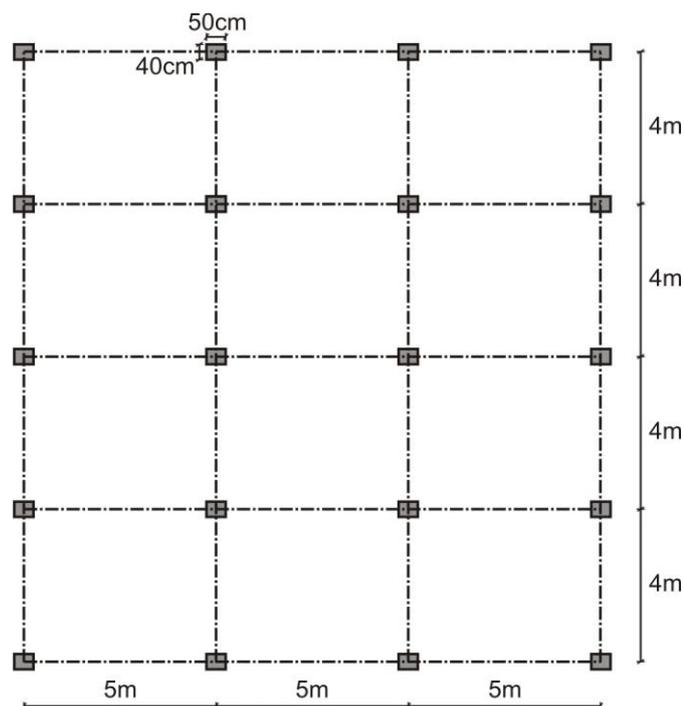
Nº de piso	Altura del piso (m)	Dirección del sismo	UX (m)
2	3	X	0,08021
1	4	X	0,04502

- i) A partir de estos valores efectúe el control de desplazamientos en X para el edificio, cuyo sistema estructural es aporticado y de concreto armado (1 punto)
- ii) ¿Indique que tipo de irregularidad estructural se tendrá? (1 punto)

### III PARTE:

11. Se tiene una edificación de 4 pisos y destinada para salas de lectura de biblioteca, proyectada en la ciudad de Huancayo, con sistema estructural aporcado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico estático, considerando el suelo rígido por la Norma E030 y:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100\text{T}/\text{m}^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706\text{T}/\text{m}^2$
Coefficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20\text{cm}$ (pisos 1, 2 y 3) $e = 17\text{cm}$ (piso 4)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 211,410T Piso 2 = 201,810T Piso 3 = 201,810T Piso 4 = 166,147T
Zapatas aisladas de dimensiones	1,7m x 1,6m x 0,6m
Profundidad de desplante (contacto con zapata)	1m



Se pide:

- Determinar el período fundamental y el factor de amplificación sísmica C (0.5 puntos)
- Calcular la fuerza cortante en la base (0.5 puntos)
- Determinar las fuerzas sísmicas por la altura del edificio (0.5 puntos)
- Calcular la excentricidad accidental (0.5 puntos)
- Modelar con el SAP2000 y determinar los desplazamientos máximos del edificio y las fuerzas internas máximas, indicando donde ocurre (3 puntos)

Desplazamiento y fuerza interna	Común (sismo X+)	Común (sismo Y+)
$X_{m\acute{a}x}$ (edificio)		
$Y_{m\acute{a}x}$ (edificio)		
$N_{m\acute{a}x}$		
$V_{m\acute{a}x}$		
$M_{m\acute{a}x}$		

- vi) Efectuar el control de desplazamientos para Sismo X+ y Sismo Y+ e indicar si es necesario reforzar la estructura (2 puntos)

**Monterrico, 04 de octubre de 2012**

## SOLUCIONARIO DE EXAMEN PARCIAL

### CICLO 2012-02

#### I PARTE:

1. **VULNERABILIDAD FISICA.** Supone la localización de la población en zonas de riesgo físico, debido a la pobreza y la falta de alternativas para una ubicación menos riesgosa. En el Perú es bien conocido el hecho que muchas poblaciones se asientan en los cauces de los ríos o en zonas fácilmente inundables. También está referida a las técnicas inadecuadas de construcción de edificaciones utilizadas en zonas de riesgo. En nuestro país, pese a las reiteradas observaciones de especialistas sobre los peligros de edificar en zonas altamente sísmicas y sin un criterio técnico, las autoridades no responden adecuadamente, dejando que la lógica del mercado en el uso del suelo se expanda sin medir los riesgos.

**VULNERABILIDAD EDUCATIVA.** Se refiere a la ausencia o inadecuada orientación de programas y acciones educativas que informen y formen capacidades en la población para participar como ciudadanos y relacionarse adecuadamente con el ambiente.

Además, se refiere al grado de preparación que recibe la población sobre formas de un comportamiento adecuado a nivel individual, familiar y comunitario en caso de amenaza u ocurrencia de situaciones de desastre.

En nuestro país este problema aun está lejos de ser resuelto, por la inexistencia de programas educativos y la escasa articulación entre el estado, los centros educativos y la comunidad.

2. **ANTES DEL DESASTRE.** Gestionar el riesgo reduciendo la vulnerabilidad y peligro, desarrollando capacidades de planificación, organización, ejecución de acciones correctivas y preparatorias, mejorando la información y comunicación, a través de mecanismos de concertación y participación de la sociedad civil, el Gobierno Local y Entidades del Estado (Sector Salud, Educación, Transporte, Agricultura).

**DURANTE EL DESASTRE.** Se refiere al episodio de tiempo real de un evento que ocurre y afecta a los elementos en riesgo. La duración del evento dependerá del tipo de amenaza; así, un sacudimiento puede transformarse en un sismo, permitiendo que se active la respuesta local, se identifiquen las provisiones de las víctimas y afectados, a través de la evaluación de daños y necesidades.

**DESPUES DEL DESASTRE.** Lograr la recuperación rápida y la rehabilitación incorporando criterios de prevención y gestión ambiental para garantizar que no se reproduzcan las condiciones de amenaza y vulnerabilidad original. La recuperación, después de un desastre, describe las actividades que comprenden tres fases: alivio de la emergencia, la rehabilitación y la reconstrucción.

3. Las principales diferencias son las mostradas en la tabla 1

Tabla 1

PARAMETRO	MAGNITUD	INTENSIDAD
Escala	Richter	Mercalli Modificada (MM)
Cuantifica	Aceleración en el terreno	Daños en las construcciones

4. **SILENCIO SISMICO.** Es la ausencia de un sismo intenso en un período relativamente largo en tiempo, lo que genera una mayor concentración de energía y que al ser liberada genera un sismo intenso. Hasta la fecha, no existe técnica, ni instrumento que pueda predecir un sismo.

5. **AMPLIFICACION.** Es el incremento de la aceleración o movimiento en el terreno, siendo una característica especial de los suelos flexibles, por ello, en la normatividad se le asigna un factor más grande.

**ATENUACION.** Es la disminución de la aceleración o movimiento del terreno, siendo una característica del suelo rígido, por ello, en la normatividad se le asigna un factor mucho menor.

6. **DIAFRAGMA RIGIDO.** Se produce cuando el desplazamiento de cada nudo de la losa depende del desplazamiento de su centro de masa.

Se modela así a las losas para el análisis sísmico, en forma análoga al giróscopo vertical, con la finalidad de transmitir los esfuerzos a los elementos de corte y así en forma sucesiva para cada piso.

7. **FALSO.** El control de desplazamientos laterales para edificaciones con muros de ductilidad limitada no debe de exceder de 0,005

8. Si el valor de "S" se incrementa (característica del suelo flexible), también se incrementará la fuerza cortante en la base y las fuerzas sísmicas por la altura de la edificación, esforzando más a la estructura. Lo opuesto sucede con el suelo rígido, es decir, cuando el valor de "S" disminuye.

## II PARTE:

9. De acuerdo al capítulo 7 "Cimentaciones sobre bases elásticas" del libro "Análisis estructural con el programa Lira 9.0" del Ph.D. Genner Villarreal Castro, los coeficientes  $C_1$  y  $C_2$  serán:

$$C_1 = \frac{E_1}{h_1(1-2\mu_1^2)} = \frac{3500}{3(1-2,0,25^2)} = 1333,33T/m^3$$

$$C_2 = \frac{E_1 h_1}{6(1+\mu_1)} = \frac{3500 \cdot 3}{6(1+0,25)} = 1400T/m$$

De los resultados obtenidos, se puede indicar que el tipo de suelo es flexible, debido a que

$$C_1 = 1,33kg/cm^3 \text{ (balasto vertical)}$$

La forma como serán distribuidos es:

$C_1$  – resorte distribuido en toda la base de contacto de la cimentación con el terreno

$C_2$  – resorte puntual en la parte lateral de la platea (balasto lateral)

10. i) Efectuamos el control de desplazamientos laterales.

$$\text{PISO 2} \quad \frac{80,21 - 45,02}{3000} = 0,012 \quad (\text{No pasa})$$

$$\text{PISO 1} \quad \frac{45,02}{4000} = 0,011 \quad (\text{No pasa})$$

Esto implica que se debe de reforzar en dicha dirección, siendo flexible el edificio

ii) Como ambos controles de desplazamiento lateral superan el 50% del máximo permisible que es 0,007 se concluye que el tipo de irregularidad es torsional.

## III PARTE:

11. i) Período fundamental:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{16}{35} = 0,457s < 0,7s$$

Factor de amplificación sísmica:

$$C = 2,5 \left( \frac{T_p}{T} \right) = 2,5 \left( \frac{0,4}{0,457} \right) = 2,188 < 2,5$$

ii) Fuerza cortante en la base:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = \frac{0,3 \cdot 1,3 \cdot 2,188 \cdot 1,0}{8} \cdot 781,177 = 83,32T$$

$$\frac{C}{R} = \frac{2,188}{8} = 0,273 > 0,125 \quad \text{OK}$$

iii) Distribución de la fuerza sísmica por la altura:

$$F_1 = \frac{211,410.4}{211,410.4 + 201,810 \cdot (8 + 12) + 166,147.16} \cdot 83,32 = \frac{845,640}{7540,192} \cdot 83,32 = 9,345T$$

$$F_2 = \frac{201,810.8}{7540,192} \cdot 83,32 = 17,840T$$

$$F_3 = \frac{201,810.12}{7540,192} \cdot 83,32 = 26,760T$$

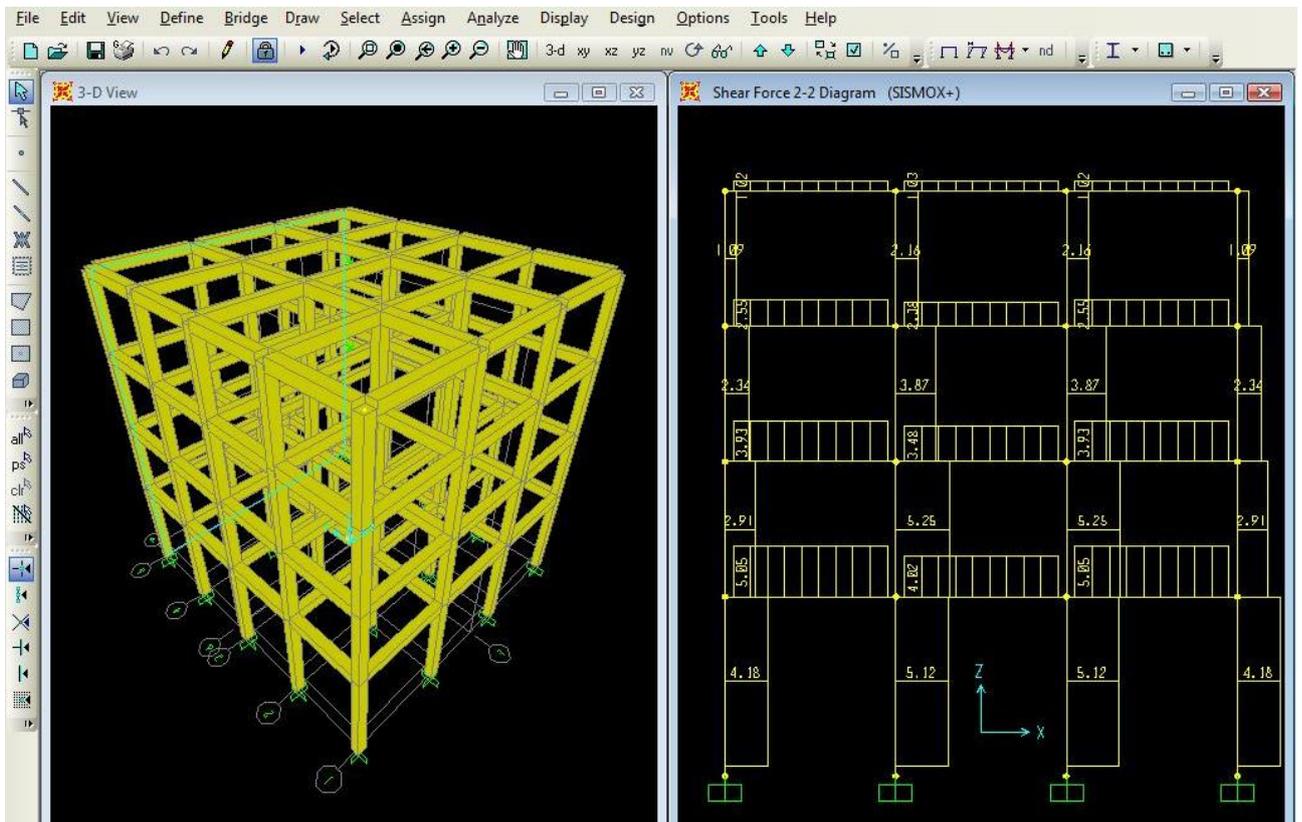
$$F_4 = \frac{166,147.16}{7540,192} \cdot 83,32 = 29,375T$$

iv) Excentricidad accidental:

$$e_x = 0,05 \cdot 15,5 = 0,775m$$

$$e_y = 0,05 \cdot 16,4 = 0,82m$$

v) En la siguiente figura, se muestra en edificio modelado en 3D y la obtención de la fuerza cortante máxima para SISMOX



Los desplazamientos y fuerzas internas máximas, se muestran en la tabla 2

Tabla 2

Desplazamiento y fuerza interna	Común (sismo X+)	Común (sismo Y+)
$X_{m\acute{a}x}$ (edificio)	111,89mm	-
$Y_{m\acute{a}x}$ (edificio)	-	127,37mm
$N_{m\acute{a}x}$	12,16T	14,77T
$V_{m\acute{a}x}$	5,25T	4,79T
$M_{m\acute{a}x}$	14,04T.m	12,43T.m

Para ambas direcciones del sismo, los desplazamientos máximos se originan en el último piso del edificio, la fuerza axial máxima en las columnas del primer piso, la fuerza cortante máxima en las columnas del segundo piso y el momento flector máximo en las columnas del primer piso.

vi) Control de desplazamientos laterales:

Tabla 3: Sismo X+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
4	111,89mm	0,003	SI
3	98,33mm	0,006	SI
2	74,30mm	0,008	NO
1	42,43mm	0,008	NO

Tabla 4: Sismo Y+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
4	127,37mm	0,003	SI
3	113,42mm	0,006	SI
2	88,21mm	0,008	NO
1	54,73mm	0,011	NO

De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en ambas direcciones, siendo necesario reforzar la estructura en ambos sentidos.

**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)**
  
**PRACTICA CALIFICADA Nº 2**
  
**CICLO 2011-02**

**Profesor** : Ph.D. Genner Villarreal Castro
   
**Sección** : CI81
   
**Duración** : 110 minutos

---

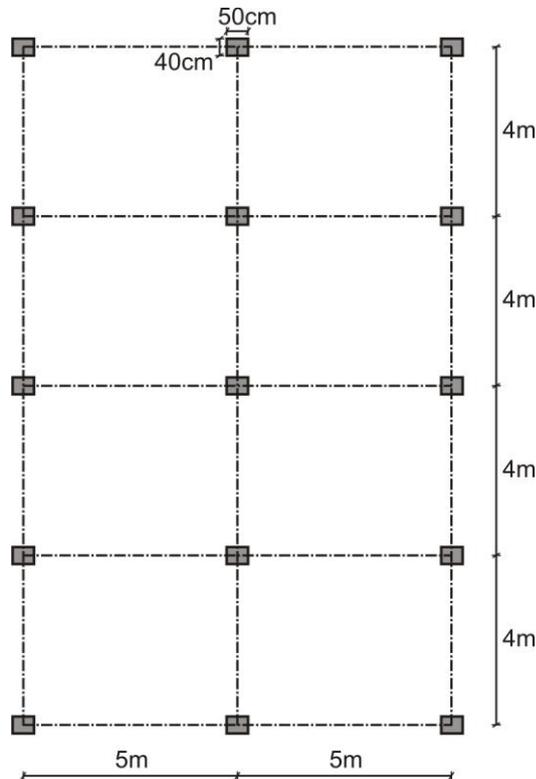
I PARTE: Responda las siguientes interrogantes (cada pregunta vale 1.5 puntos):

1. ¿Qué entiende por vibración libre y cuál es el número mínimo de modos de vibración que se utilizan en el cálculo de edificaciones de concreto armado en 3D?
2. ¿Qué se investiga en el área de métodos estadísticos y probabilísticos? ¿Qué entiende por interacción suelo-estructura?
3. Determine el factor de amplificación sísmica C para suelo rígido, intermedio y flexible
4. De acuerdo a la Norma de Diseño Sismo-Resistente E030, determine el factor de escala, si la edificación es un edificio multifamiliar irregular con muros de ductilidad limitada, ubicado en la ciudad de Piura y con suelo flexible.
5. ¿Cuál es la diferencia entre el análisis espectral y el análisis tiempo-historia? ¿Qué análisis sísmico recomendaría para una central nuclear?

II PARTE:

6. Se tiene una edificación de 3 pisos y destinada para aulas de centro educativo, proyectada en la ciudad de Trujillo, con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico dinámico, considerando el suelo rígido por la Norma E030 y:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100\text{T} / \text{m}^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706\text{T} / \text{m}^2$
Coeficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losas de techo aligerada de espesor	$e = 20\text{cm}$ (pisos 1 y 2) $e = 17\text{cm}$ (piso 3)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 143,925T Piso 2 = 136,725T Piso 3 = 116,913T
Zapatillas aisladas de dimensiones	1,3m x 1,2m x 0,4m
Profundidad de desplante	1m



Se pide:

- i) Calcular la excentricidad accidental, masas a nivel de entrepisos y factor de escala (3 puntos)
- ii) Modelar con el SAP2000 y determinar los 8 primeros períodos de vibración (3 puntos)
- iii) Efectuar el control de desplazamientos laterales para ambas direcciones (2 puntos)
- iv) Determinar las fuerzas internas máximas, indicando los elementos en los cuales surgen dichas fuerzas internas (2 puntos)
- v) Comparar los resultados obtenidos anteriormente (desplazamiento, fuerza axial, fuerza cortante y momento flector) con los del análisis tiempo-historia por el sismo de Chimbote 1970 amplificado a 0,4g sólo para la dirección más desfavorable (2.5 puntos)

Desplazamiento y fuerza interna	Espectral (sismo Y+)	Tiempo-Historia (sismo Y+)
$Y_{m\acute{a}x}$ (edificio)		
$N_{m\acute{a}x}$		
$V_{m\acute{a}x}$		
$M_{m\acute{a}x}$		

Monterrico, 25 de octubre de 2011

## SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA CALIFICADA Nº 2

### CICLO 2011-02

#### I PARTE:

1. **VIBRACION LIBRE.** Es la forma de vibrar de la estructura, dependiente de la interacción entre la rigidez de la estructura y la distribución de masas en la edificación.

**NUMERO MINIMO DE MODOS DE VIBRACION.** De acuerdo a la Norma de Diseño Sismorresistente E030, se deben de considerar aquellos modos de vibración, cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa de la estructura, debiendo de tomarse en cuenta, por lo menos, los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

2. **METODOS ESTADISTICOS Y PROBABILISTICOS.** Se estudian a los sismos como procesos eventuales y no estacionarios, analizándose la vulnerabilidad de las edificaciones mediante tablas ponderativas de daños de acuerdo a sismos intensos en las zonas de los proyectos.

**INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA.** Se analiza el contacto dinámico entre el suelo de fundación y la cimentación, y su correspondiente distribución de esfuerzos a la superestructura. Esto es, el suelo no solo se considera como un parámetro, sino como un elemento del trinomio suelo-cimentación-superestructura.

3. **FACTOR DE AMPLIFICACION SISMICA.** De acuerdo a la Norma de Diseño Sismorresistente E030, se

determina mediante la fórmula  $C = 2,5 \left( \frac{T_p}{T} \right)$ , debiendo de cumplirse con la relación  $C \leq 2,5$

Tabla 1

SUELO RIGIDO ( $T_p = 0,4s$ )		SUELO INTERMEDIO ( $T_p = 0,6s$ )		SUELO FLEXIBLE ( $T_p = 0,9s$ )	
T	C	T	C	T	C
0,0	2,50	0,0	2,50	0,0	2,50
0,4	2,50	0,6	2,50	0,9	2,50
0,5	2,00	0,7	2,14	1,0	2,25
0,6	1,67	0,8	1,87	2,0	1,13
0,7	1,43	0,9	1,67	3,0	0,75
0,8	1,25	1,0	1,50	4,0	0,56
0,9	1,11	2,0	0,75	5,0	0,45
1,0	1,00	3,0	0,50	6,0	0,38
2,0	0,50	4,0	0,38	7,0	0,32
3,0	0,33	5,0	0,30	8,0	0,28
4,0	0,25	6,0	0,25	-	-
5,0	0,20	7,0	0,21	-	-
6,0	0,17	8,0	0,19	-	-
7,0	0,14	-	-	-	-
8,0	0,13	-	-	-	-

4. **FACTOR DE ESCALA.** Determinamos los parámetros necesarios de zona, uso, suelo y sistema estructural.

Z=0,4 (Piura)

U=1,0 (Vivienda multifamiliar)

S=1,4 (Suelo flexible)

g=9,81m/s<sup>2</sup> (Aceleración de la gravedad)

R=4 (Sistema de muros de ductilidad limitada)

De acuerdo a la Norma de Diseño Sismorresistente E030, para edificaciones irregulares, se debe de considerar un factor de reducción sísmica igual a los 3/4 del regular, es decir R'=3R/4

De esta manera, para el edificio irregular, el factor de escala (necesario para el SAP2000) es:

$$F.E. = \frac{ZUSg}{R'} = \frac{0,4 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 9,81}{0,75 \cdot 4} = 1,8312$$

5. ANALISIS ESPECTRAL. Se basa en la aplicación de un espectro de respuesta, de acuerdo a una plataforma específica, dependiente de la zona sísmica, uso, suelo, sistema estructural y aceleración de la gravedad. Se aplica para edificaciones convencionales.

ANALISIS TIEMPO-HISTORIA. Se basa en la aplicación de por lo menos cinco registros de aceleraciones horizontales (acelerogramas) reales o artificiales y debiendo de normalizarse; de tal manera que la aceleración máxima corresponda al valor máximo esperado en el sitio del proyecto. Se aplica para edificaciones especiales.

Se entiende por acelerograma, al registro aceleración vs. tiempo que nos otorga el Instituto Geofísico del Perú.

CENTRAL NUCLEAR. Por tratarse de una edificación esencial, cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, se recomienda la aplicación del análisis tiempo-historia, considerando el comportamiento inelástico de los elementos de la estructura.

## II PARTE:

6. i) EXCENRICIDAD ACCIDENTAL

$$e_x = 0,05 \cdot 10,5 = 0,525\text{m}$$

$$e_y = 0,05 \cdot 16,4 = 0,82\text{m}$$

MASAS A NIVEL DE ENTREPISOS

Piso 3:

$$M_{t(3)} = \frac{116,913}{9,81} = 11,918\text{T}\cdot\text{s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(3)} = \frac{11,918(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 376,619\text{T}\cdot\text{s}^2 \cdot \text{m}$$

Piso 2:

$$M_{t(2)} = \frac{136,725}{9,81} = 13,937\text{T}\cdot\text{s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(2)} = \frac{13,937(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 440,421\text{T}\cdot\text{s}^2 \cdot \text{m}$$

Piso 1:

$$M_{t(1)} = \frac{143,925}{9,81} = 14,671\text{T}\cdot\text{s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(l)} = \frac{14,671(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 463,616 T.s^2.m$$

FACTOR DE ESCALA

$$F.E. = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,4.1,5.1,0,9,81}{8} = 0,73575$$

ii) PERIODOS DE VIBRACION

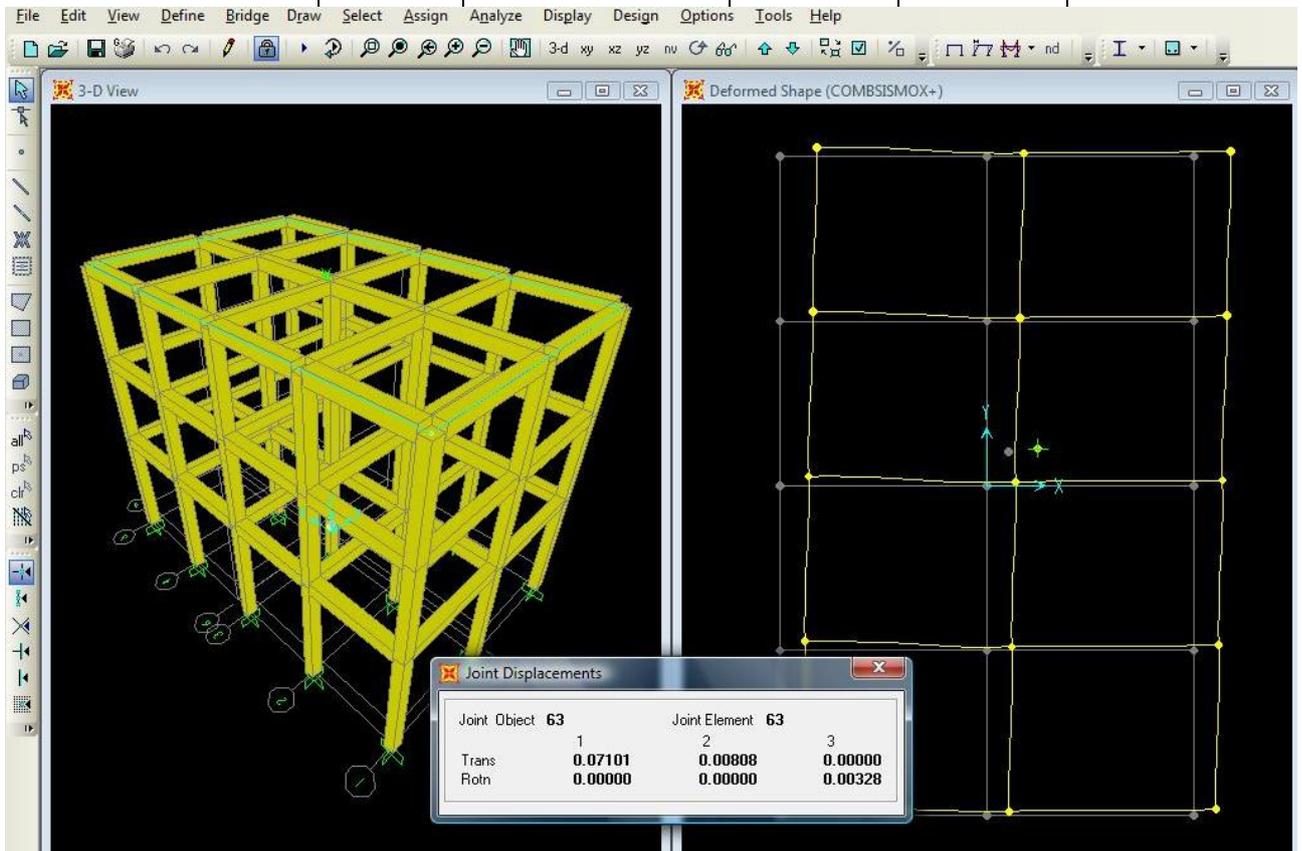
Tabla 2

MODO	PERIODO (s)
1	0,57085
2	0,53680
3	0,41296
4	0,18294
5	0,16831
6	0,13095
7	0,11045
8	0,09524

iii) CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES

Tabla 3: Sismo X+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
3	71,01mm	0,003	SI
2	58,10mm	0,006	SI
1	34,74mm	0,007	SI



En la figura de la página anterior, se mostró al edificio modelado en 3D y la obtención del desplazamiento máximo en el centro de masa del piso 3 para COMBSISMOX+

Tabla 4: Sismo Y+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
3	75,99mm	0,003	SI
2	64,64mm	0,005	SI
1	42,71mm	0,008	NO

De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en la dirección Y, siendo necesario reforzar la estructura en dicho sentido.

iv) FUERZAS INTERNAS MAXIMAS

Tabla 5

Fuerza interna	Común (sismo X+)	Común (sismo Y+)
$N_{m\acute{a}x}$	8,05T	8,29T
$V_{m\acute{a}x}$	5,07T	3,82T
$M_{m\acute{a}x}$	13,70T.m	9,87T.m

Para ambas direcciones, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso.

v) ANALISIS COMPARATIVO

En la siguiente figura se muestra el edificio modelado en 3D y la obtención del desplazamiento máximo en el centro de masa del piso 3 para el análisis tiempo-historia.

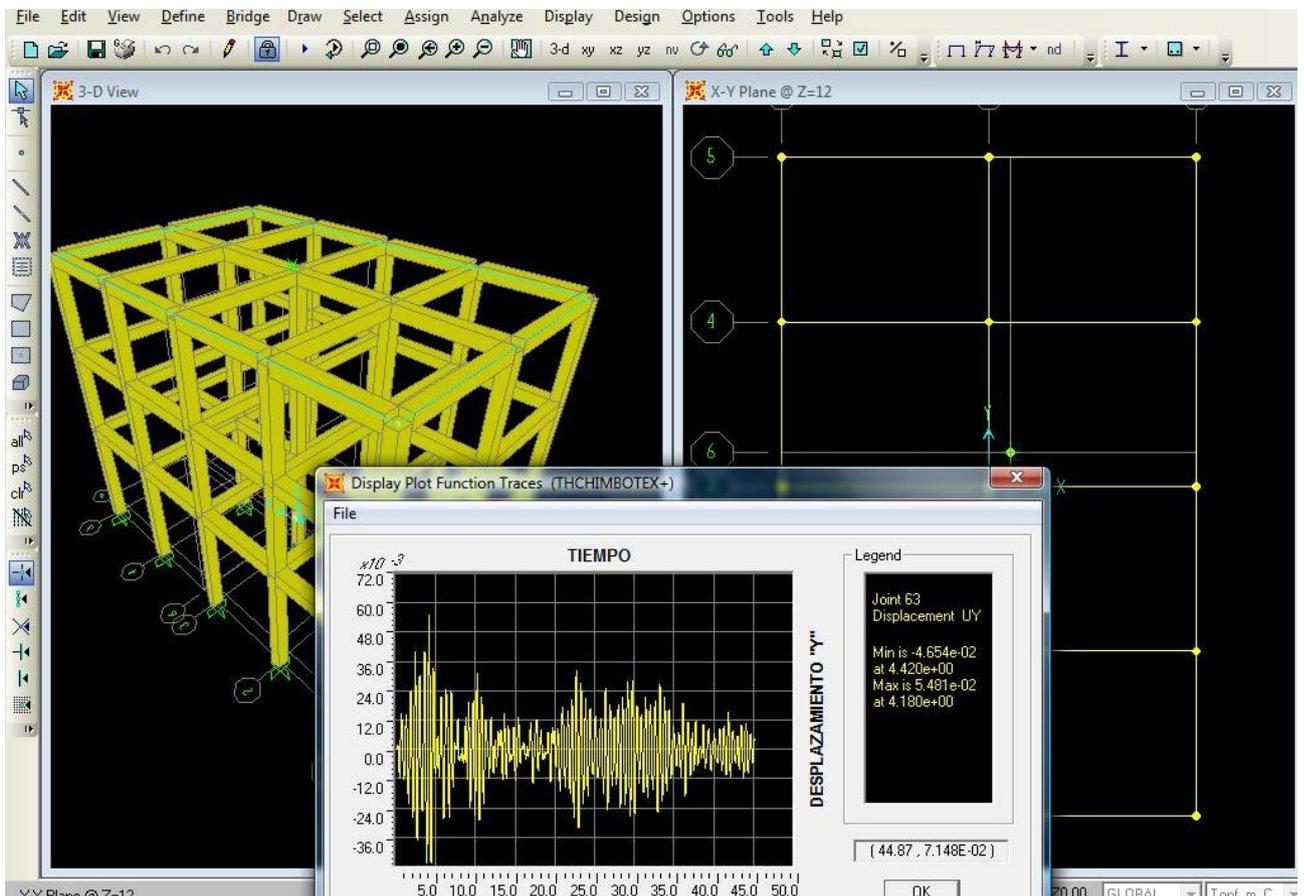


Tabla 6

Desplazamiento y fuerza interna	Espectral (sismo Y+)	Tiempo-Historia (sismo Y+)
$Y_{m\acute{a}x}$ (edificio)	75,99mm	54,81mm
$N_{m\acute{a}x}$	8,29T	36,44T
$V_{m\acute{a}x}$	3,82T	17,20T
$M_{m\acute{a}x}$	9,87T.m	44,43T.m

Como se podrá apreciar, en el análisis tiempo-historia se obtienen mayores fuerzas internas y menor desplazamiento, siendo las variaciones muy grandes, de donde se puede desprender como conclusión que el análisis espectral es referencial o el acelerograma de Chimbote 1970 no es confiable, mereciendo investigaciones serias al respecto.

**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)**  
**PRACTICA CALIFICADA Nº 2**  
**CICLO 2012-01**

**Profesor** : Ph.D. Genner Villarreal Castro  
**Sección** : CI81  
**Duración** : 110 minutos

---

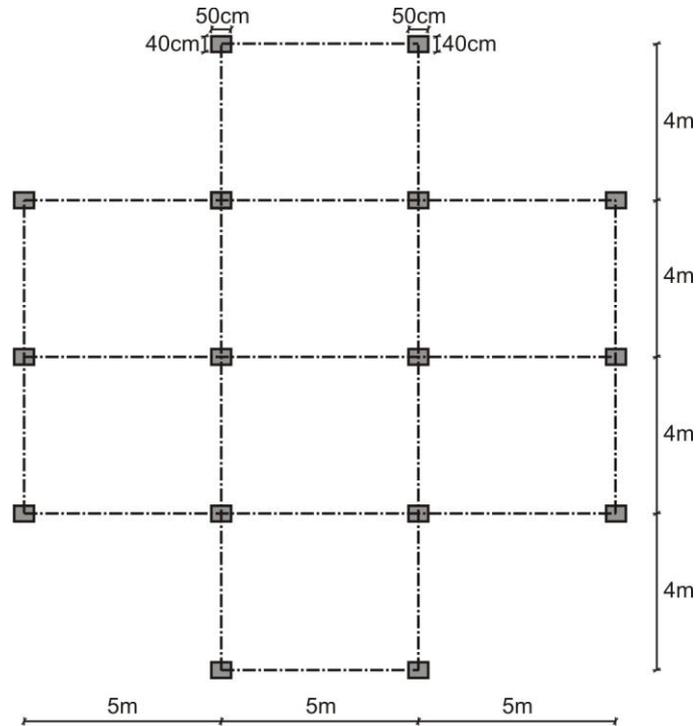
I PARTE: Responda las siguientes interrogantes (cada pregunta vale 1.5 puntos):

1. ¿Qué entiende por amortiguación y cuáles son los coeficientes o parámetros de amortiguación que se asignan a las estructuras de acero, de concreto, de albañilería y de madera?
2. ¿Qué entiende por no-linealidad física, geométrica y constructiva?
3. Indique 3 deficiencias del modelo del péndulo invertido
4. ¿Qué entiende por durabilidad estructural y de qué factores depende?
5. ¿De qué parámetros depende el análisis espectral de la Norma de Diseño Sismo-Resistente E030?

II PARTE:

6. Se tiene una edificación de 4 pisos y destinada para centro comercial, proyectada en la ciudad de Lima, con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico dinámico, considerando el suelo rígido por la Norma E030 y:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100T/m^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706T/m^2$
Coefficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo maciza de espesor	$e = 15cm$ (pisos 1, 2 y 3) $e = 12cm$ (piso 4)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 178,286T Piso 2 = 170,606T Piso 3 = 170,606T Piso 4 = 122,080T
Zapatas aisladas de dimensiones	1,5m x 1,4m x 0,5m
Profundidad de desplante	1m



Se pide:

- i) Calcular la excentricidad accidental, masas a nivel de entresijos y factor de escala (3 puntos)
- ii) Modelar con el SAP2000 y determinar los 8 primeros períodos de vibración (3 puntos)
- iii) Efectuar el control de desplazamientos laterales para ambas direcciones (2 puntos)
- iv) Determinar las fuerzas internas máximas, indicando los elementos en los cuales surgen dichas fuerzas internas (2 puntos)
- v) Comparar los resultados obtenidos anteriormente (desplazamiento, fuerza axial, fuerza cortante y momento flector) con los del análisis tiempo-historia por el sismo de Lima 1974 sólo para la dirección más desfavorable (2.5 puntos)

Desplazamiento y fuerza interna	Espectral (sismo Y+)	Tiempo-Historia (sismo Y+)
$Y_{m\acute{a}x}$ (edificio)		
$N_{m\acute{a}x}$		
$V_{m\acute{a}x}$		
$M_{m\acute{a}x}$		

Monterrico, 29 de mayo de 2012

## SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA CALIFICADA Nº 2

### CICLO 2012-01

#### I PARTE:

1. AMORTIGUACION. Es una característica de los materiales de construcción o de los sistemas de protección sísmica de absorber energía, lo cual se puede observar cuando se realiza un balance energético.

Los coeficientes o parámetros de amortiguación para los materiales más comunes en la construcción son:

ACERO  $\beta = 0,01$

CONCRETO  $\beta = 0,05$

ALBAÑILERIA  $\beta = 0,04$

MADERA  $\beta = 0,03$

2. NO-LINEALIDAD FISICA. Es la no-linealidad entre el esfuerzo normal  $\sigma$  y la deformación unitaria longitudinal  $\varepsilon$ . Este tipo de análisis simula el comportamiento del material hasta la rotura y se puede hacer en forma estática o dinámica, usando el método de los pasos para describir la curvatura, es decir, es un proceso iterativo, del cual dependerá la exactitud y tiempo de ejecución del análisis.

NO-LINEALIDAD GEOMETRICA. Es la dependencia no-lineal entre el desplazamiento y la deformación, el cual tiene gran importancia para edificios altos y puentes de grandes luces, donde se analiza la pérdida de estabilidad de primer o segundo orden.

NO-LINEALIDAD CONSTRUCTIVA. Es la simulación de la construcción por etapas y los factores de corrección de uniones, considerando desgastes y esfuerzos adicionales, algo no tipificado en los análisis comunes, donde se modela un edificio y automáticamente aparece el número total de pisos, algo inadecuado, ya que no considera los efectos anteriormente indicados.

Todos estos temas son materia de investigación a nivel mundial.

3. Las principales deficiencias del modelo del péndulo invertido son:
  - Es inexacto, porque no describe el trabajo espacial de las estructuras.
  - Sobredimensiona los elementos estructurales, porque trabaja en 2D y redistribuye las fuerzas de diseño en función de las rigideces de los elementos.
  - No describe el efecto de interacción suelo-estructura.
4. DURABILIDAD ESTRUCTURAL. Es el tiempo de vida útil de las construcciones, sin necesidad de reforzar la estructura. Para edificaciones, la vida útil es mínimo 50 años, para puentes 100 años y para presas 200 años.

Depende de varios factores, entre ellos:

- Correcta modelación estructural, desapareciendo del diseño los daños estructurales de columna corta, rótula plástica, piso blando y otros tipificados en las Normas y Códigos de diseño.
  - Buen estudio de mecánica de suelos, desapareciendo futuros asentamientos y transmisión de humedad o sales hacia la superestructura.
  - Correcto proceso constructivo, eliminando errores como cangrejeras, corrosión y otros.
  - Correcto funcionamiento o explotación de las instalaciones, no cambiando los usos, ni efectuando ampliaciones y otros sin criterio técnico.
5. El análisis espectral de la Norma de Diseño Sismo-Resistente E030, depende de los siguientes parámetros:

- Zonificación del proyecto (Z)
- Uso de la edificación (U)
- Tipo de suelo (S)
- Factor de amplificación del suelo (C)
- Período de vibración del suelo ( $T_p$ )
- Aceleración de la gravedad (g)
- Factor de reducción sísmica (R) dependiente del sistema estructural

## II PARTE:

### 6. i) EXCENRICIDAD ACCIDENTAL

$$e_x = 0,05 \cdot 15,5 = 0,775\text{m}$$

$$e_y = 0,05 \cdot 16,4 = 0,82\text{m}$$

### MASAS A NIVEL DE ENTREPISOS

Como el edificio es irregular y de acuerdo a la modelación estructural, la losa se comportará como diafragma rígido y rotará alrededor del eje Z, entonces, para determinar la masa rotacional en cada piso, aplicaremos la siguiente fórmula:

$$M_r = \frac{M_t (I_x + I_y)}{A}$$

Donde:

$I_x$  - momento de inercia de la losa del edificio respecto al eje centroidal "X"

$I_y$  - momento de inercia de la losa del edificio respecto al eje centroidal "Y"

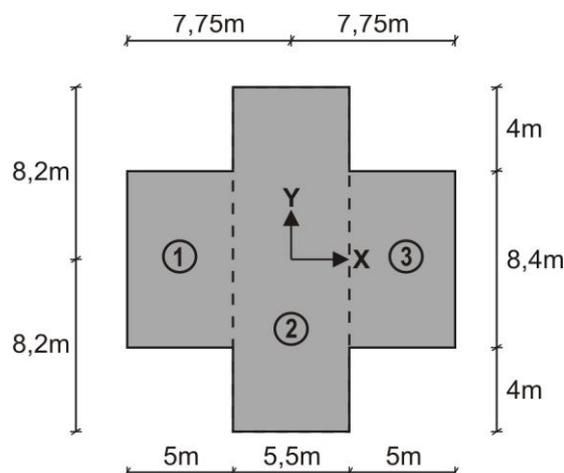
Para facilidad de cálculo, dividimos la losa en 3 figuras regulares, tal como se muestra en la figura y determinamos los momentos de inercia en X e Y

$$I_x = \frac{5,5 \cdot 16,4^3}{12} + 2 \cdot \left( \frac{5,8,4^3}{12} \right) = 2515,603\text{m}^4$$

$$I_y = \frac{16,4 \cdot 5,5^3}{12} + 2 \cdot \left( \frac{8,4 \cdot 5^3}{12} + 8,4 \cdot 5 \cdot 5,25^2 \right) = 2717,629\text{m}^4$$

Ahora, calculamos el área de la losa

$$A = 5,5 \cdot 16,4 + 2 \cdot 5 \cdot 8,4 = 174,2\text{m}^2$$



Piso 4:

$$M_{t(4)} = \frac{122,080}{9,81} = 12,444T.s^2 / m$$

$$M_{r(4)} = \frac{12,444(2515,603 + 2717,629)}{174,2} = 373,837T.s^2 .m$$

Piso 3:

$$M_{t(3)} = \frac{170,606}{9,81} = 17,391T.s^2 / m$$

$$M_{r(3)} = \frac{17,391(2515,603 + 2717,629)}{174,2} = 522,452T.s^2 .m$$

Piso 2:

$$M_{t(2)} = \frac{170,606}{9,81} = 17,391T.s^2 / m$$

$$M_{r(2)} = \frac{17,391(2515,603 + 2717,629)}{174,2} = 522,452T.s^2 .m$$

Piso 1:

$$M_{t(1)} = \frac{178,286}{9,81} = 18,174T.s^2 / m$$

$$M_{r(1)} = \frac{18,174(2515,603 + 2717,629)}{174,2} = 545,974T.s^2 .m$$

FACTOR DE ESCALA

$$F.E. = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,4.1,3.1,0,9,81}{0,75.8} = 0,8502$$

Se asume R=0,75.8=6 por ser irregular (esquina entrante)

ii) PERIODOS DE VIBRACION

Tabla 1

MODO	PERIODO (s)
1	0,77329
2	0,71909
3	0,55013
4	0,25116
5	0,23005
6	0,17744
7	0,14793
8	0,13075

iii) CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES

Para efectuar las combinaciones, se debe de multiplicar por 4,5 que corresponde al 75% del R irregular del edificio.

Tabla 2: Sismo X+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
4	83,71mm	0,002	SI
3	74,72mm	0,004	SI
2	57,55mm	0,006	SI
1	33,30mm	0,007	SI

Tabla 3: Sismo Y+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
4	89,70mm	0,002	SI
3	81,46mm	0,004	SI
2	64,94mm	0,006	SI
1	41,12mm	0,008	NO

De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en la dirección Y, siendo necesario reforzar la estructura en dicho sentido.

iv) FUERZAS INTERNAS MAXIMAS

En la siguiente figura se muestra el edificio modelado en 3D y la obtención de la fuerza cortante máxima para la dirección más desfavorable, es decir, cuando se analiza el Sismo Y+

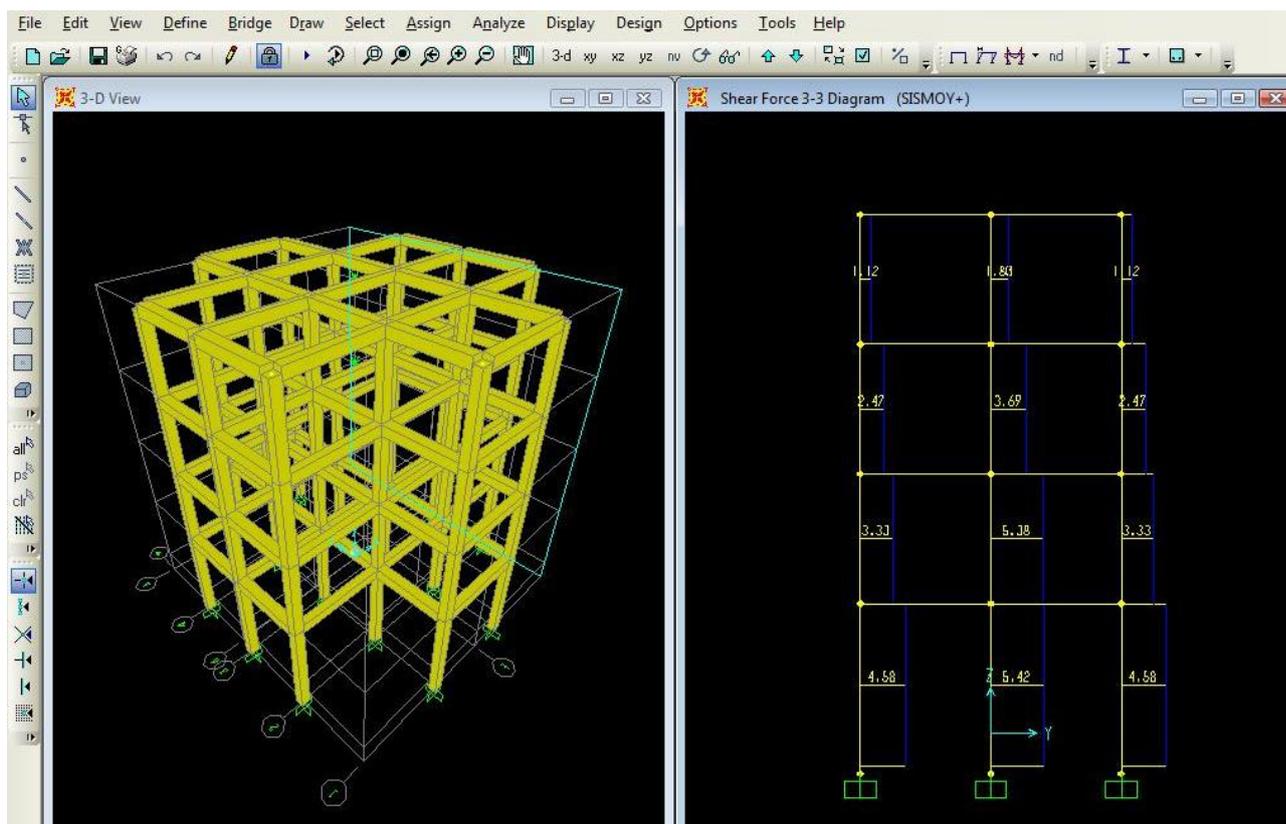


Tabla 4

Fuerza interna	Común (sismo X+)	Común (sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	14,80T	15,39T
$V_{\text{máx}}$	5,43T	5,42T
$M_{\text{máx}}$	15,67T.m	13,97T.m

Para ambas direcciones, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso.

v) ANALISIS COMPARATIVO

En la siguiente figura se muestra el edificio modelado en 3D y la obtención de la fuerza cortante máxima para el Sismo Y+ mediante el análisis tiempo-historia usando el acelerograma Lima 1974.

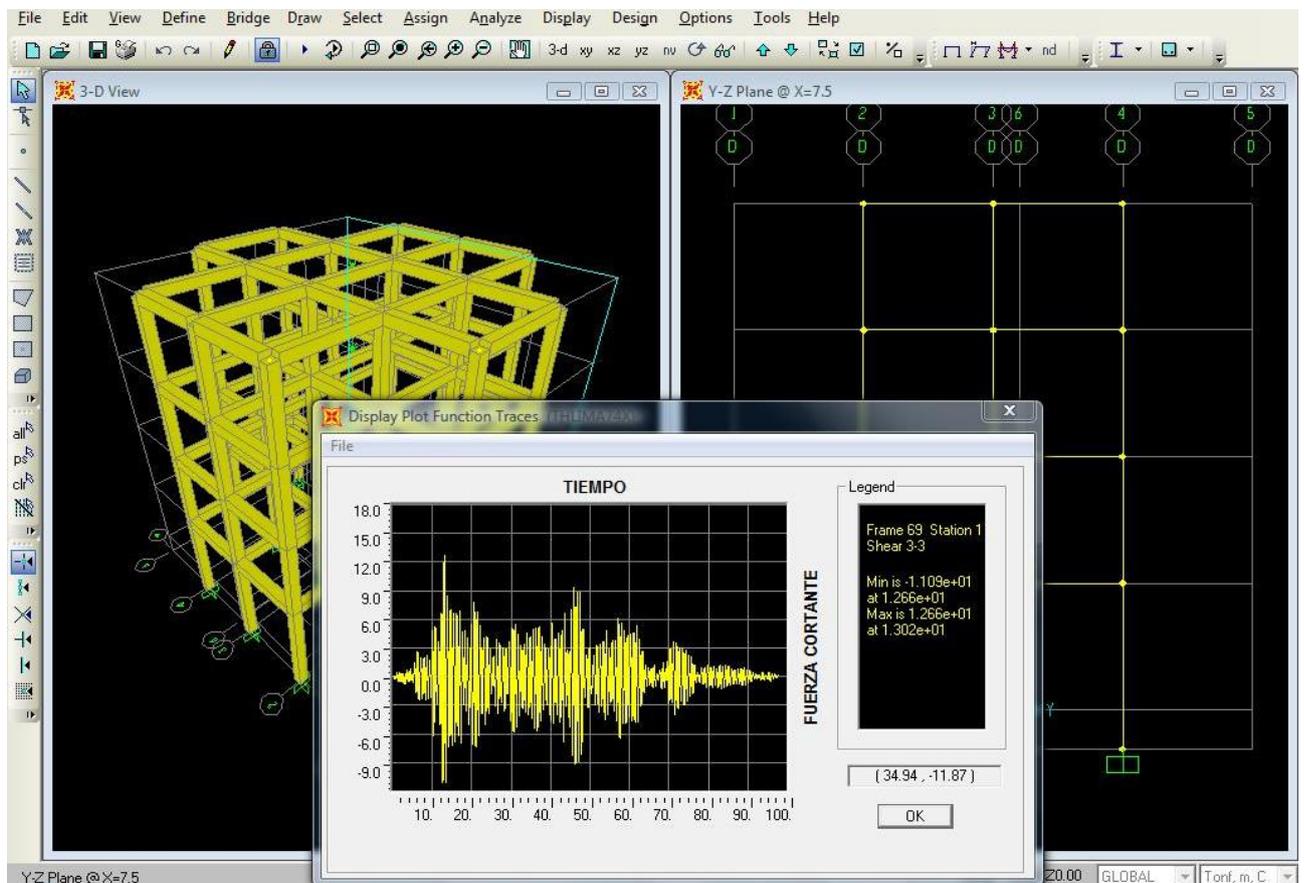


Tabla 5

Desplazamiento y fuerza interna	Espectral (sismo Y+)	Tiempo-Historia (sismo Y+)
$Y_{\text{máx}}$ (edificio)	89,70mm	44,57mm
$N_{\text{máx}}$	15,39T	33,94T
$V_{\text{máx}}$	5,42T	12,66T
$M_{\text{máx}}$	13,97T.m	32,59T.m

Como se podrá apreciar, en el análisis tiempo-historia se obtienen mayores fuerzas internas y menor desplazamiento, siendo las variaciones muy grandes, de donde se puede desprender como conclusión que el análisis espectral es referencial o el acelerograma de Lima 1974 no es confiable, mereciendo investigaciones serias al respecto.

**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)**
  
**PRACTICA CALIFICADA Nº 2**
  
**CICLO 2012-02**

**Profesor** : Ph.D. Genner Villarreal Castro
   
**Sección** : CI81
   
**Duración** : 110 minutos

---

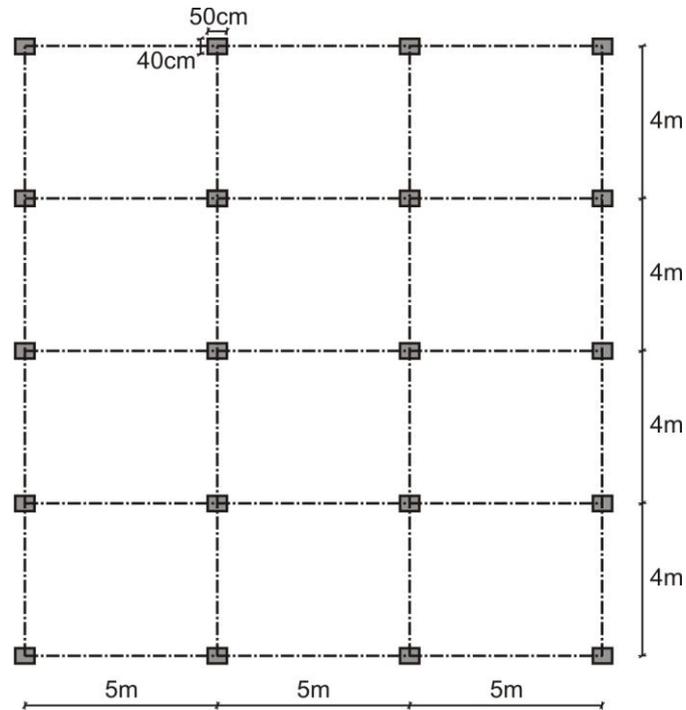
I PARTE: Responda las siguientes interrogantes (cada pregunta vale 1 punto):

1. Determine el factor de escala para un centro educativo irregular, ubicado en la ciudad de Chimbote con un suelo intermedio de albañilería confinada y diseñada por esfuerzos admisibles
2. Mencione las nuevas tendencias en el diseño sismo-resistente
3. ¿Cuál es la diferencia entre el análisis estático y análisis espectral?
4. ¿Cuáles son los grados de libertad del centro de masa de la losa de entrepiso y cuáles son sus restricciones?
5. ¿Qué entiende por junta sísmica y cómo se calcula?
6. ¿Será correcto afirmar que si sobre un muro o pórtico actúa una fuerza de 30% o más del total de la fuerza cortante horizontal en cualquier entrepiso, dicho elemento deberá diseñarse para el 130% de dicha fuerza?
7. ¿Qué entiende por vida residual?

II PARTE:

8. Se tiene una edificación de 4 pisos y destinada para salas de lectura de biblioteca, proyectada en la ciudad de Huancayo con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico dinámico, considerando el suelo rígido por la Norma E030 y:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100T / m^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706T / m^2$
Coeficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20cm$ (pisos 1, 2 y 3) $e = 17cm$ (piso 4)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 211,410T
	Piso 2 = 201,810T
	Piso 3 = 201,810T
	Piso 4 = 166,147T
Zapatillas aisladas de dimensiones	1,7m x 1,6m x 0,6m
Profundidad de desplante (contacto con zapata)	1m



Se pide:

- i) Calcular la excentricidad accidental, masas a nivel de entrepisos y factor de escala (3 puntos)
- ii) Modelar con el SAP2000 y determinar los 8 primeros períodos de vibración (3 puntos)
- iii) Efectuar el control de desplazamientos laterales para ambas direcciones (2 puntos)
- iv) Determinar las fuerzas internas máximas, indicando los elementos en los cuales surgen dichas fuerzas internas (2 puntos)
- v) Comparar los resultados obtenidos anteriormente (desplazamiento, fuerza axial, fuerza cortante y momento flector) con los del análisis tiempo-historia por el sismo de Lima 1966 sólo para la dirección más desfavorable (3 puntos)

Desplazamiento y fuerza interna	Espectral (sismo Y+)	Tiempo-Historia (sismo Y+)
$Y_{m\acute{a}x}$ (edificio)		
$N_{m\acute{a}x}$		
$V_{m\acute{a}x}$		
$M_{m\acute{a}x}$		

**Monterrico, 23 de octubre de 2012**

## SOLUCIONARIO DE PRÁCTICA CALIFICADA Nº 2

### CICLO 2012-02

#### I PARTE:

1. FACTOR DE ESCALA. Determinamos los parámetros necesarios de zona, uso, suelo y sistema estructural.

$Z=0,4$  (Chimbote)

$U=1,5$  (Centro educativo)

$S=1,2$  (Suelo intermedio)

$g=9,81\text{m/s}^2$  (Aceleración de la gravedad)

$R=6$  (Sistema de albañilería confinada y diseñada por esfuerzos admisibles)

De acuerdo a la Norma de Diseño Sismorresistente E030, para edificaciones irregulares, se debe de considerar un factor de reducción sísmica igual a los 3/4 del regular, es decir  $R'=3R/4$

De esta manera, para el edificio irregular, el factor de escala (necesario para el SAP2000) es:

$$\text{F.E.} = \frac{ZUSg}{R'} = \frac{0,4 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 9,81}{0,75 \cdot 6} = 1,5696$$

2. Las nuevas tendencias en el diseño sismo-resistente son:

- Métodos estadísticos y probabilísticos
- Interacción suelo-estructura
- No-linealidad física, geométrica y constructiva
- Sistemas de protección sísmica: disipadores y aisladores

3. ANALISIS ESTATICO. Se basa en la aplicación de fuerzas laterales a nivel de entresijos y ubicados en sus centros de masa. Se aplica para edificaciones convencionales regulares y menores a 45m de altura. ANALISIS ESPECTRAL. Se basa en la aplicación de masas traslacionales y rotacional en los centros de masa de cada piso y un espectro de respuesta, de acuerdo a una plataforma específica. Se aplica para edificaciones convencionales regulares e irregulares sin limitación de altura.

4. GRADOS DE LIBERTAD. Los movimientos que puede realizar son desplazamientos laterales en X e Y, rotación alrededor del eje vertical Z

RESTRICCIONES. Las restricciones aplicadas en los centros de masa son desplazamiento en Z y rotación alrededor de los ejes X e Y

5. JUNTA SISMICA. Es la separación entre dos estructuras vecinas, con la finalidad de evitar el contacto durante un movimiento sísmico y se lo denota como "s"

Esta distancia no será menor que los 2/3 de la suma de los desplazamientos máximos de los bloques adyacentes, ni menor que  $s = 3 + 0,004 \cdot (h - 500)$ , donde "h" y "s" están dados en centímetros, siendo "h" la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar "s".

6. FALSO. La Norma E030 en el artículo 8, sexto párrafo, nos indica que si sobre un muro o pórtico, actúa una fuerza de 30% o más del total de la fuerza cortante horizontal en cualquier entresijo, dicho elemento deberá diseñarse para el 125% de dicha fuerza.

7. VIDA RESIDUAL. Es el período posterior al tiempo de vida útil (TVU) de un proyecto, es decir, se inicia en el límite de serviciabilidad (ELS) y concluye en el estado de límite último (ELU). En la vida residual se realizan las reparaciones y reforzamientos, con la finalidad de mejorar su comportamiento estructural, alargando, de esta manera, la llegada del estado de límite último, evitando el colapso de la estructura.

## II PARTE:

### 8. i) EXCENRICIDAD ACCIDENTAL

$$e_x = 0,05 \cdot 15,5 = 0,775\text{m}$$

$$e_y = 0,05 \cdot 16,4 = 0,82\text{m}$$

#### MASAS A NIVEL DE ENTREPISOS

Piso 4:

$$M_{t(4)} = \frac{166,147}{9,81} = 16,936\text{T.s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(4)} = \frac{16,936(15,5^2 + 16,4^2)}{12} = 718,665\text{T.s}^2 \cdot \text{m}$$

Piso 3:

$$M_{t(3)} = \frac{201,810}{9,81} = 20,572\text{T.s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(3)} = \frac{20,572(15,5^2 + 16,4^2)}{12} = 872,955\text{T.s}^2 \cdot \text{m}$$

Piso 2:

$$M_{t(2)} = \frac{201,810}{9,81} = 20,572\text{T.s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(2)} = \frac{20,572(15,5^2 + 16,4^2)}{12} = 872,955\text{T.s}^2 \cdot \text{m}$$

Piso 1:

$$M_{t(1)} = \frac{211,410}{9,81} = 21,550\text{T.s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(1)} = \frac{21,550(15,5^2 + 16,4^2)}{12} = 914,456\text{T.s}^2 \cdot \text{m}$$

#### FACTOR DE ESCALA

$$\text{F.E.} = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,3 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 9,81}{8} = 0,4782$$

### ii) PERIODOS DE VIBRACION

Tabla 1

MODO	PERIODO (s)
1	0,75938
2	0,70273
3	0,56031
4	0,24692
5	0,22523
6	0,18114
7	0,14531
8	0,12807

iii) CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES

Tabla 2: Sismo X+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
4	60,81mm	0,002	SI
3	54,12mm	0,003	SI
2	41,69mm	0,004	SI
1	24,32mm	0,005	SI

Tabla 3: Sismo Y+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
4	66,20mm	0,002	SI
3	59,82mm	0,003	SI
2	47,61mm	0,004	SI
1	30,28mm	0,006	SI

iv) FUERZAS INTERNAS MAXIMAS

En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y la obtención del momento flector máximo para la dirección más desfavorable, es decir, cuando se analiza el Sismo Y+

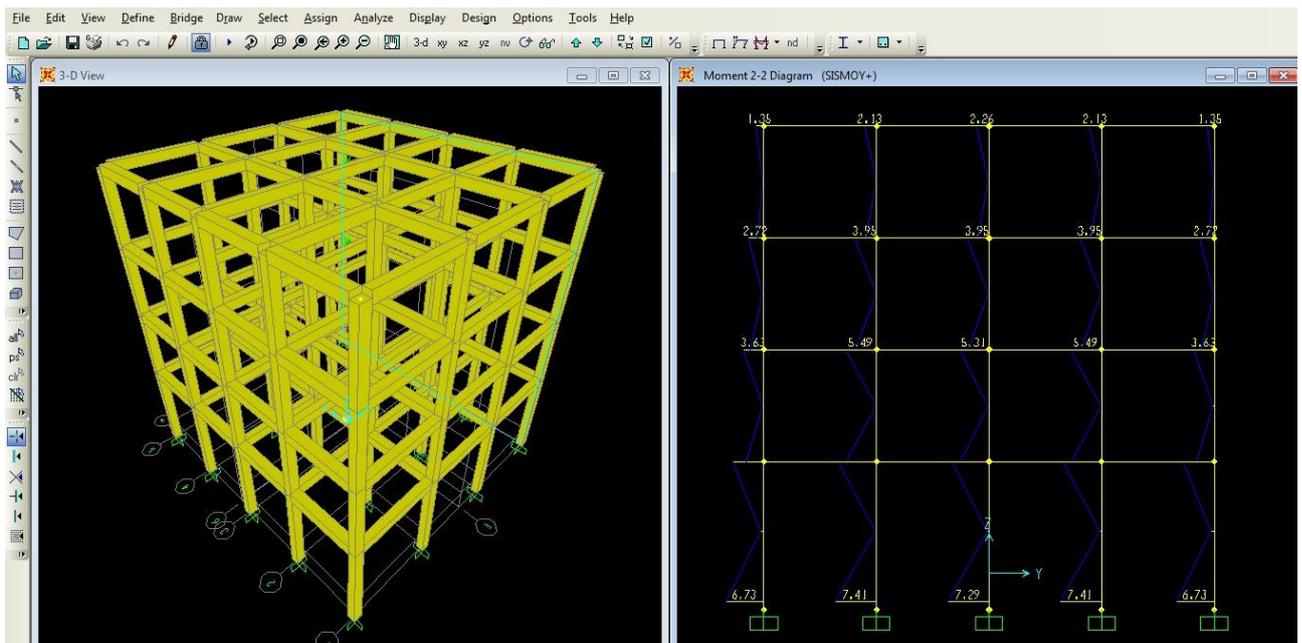


Tabla 4

Fuerza interna	Común (sismo X+)	Común (sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	7,11T	7,80T
$V_{\text{máx}}$	3,33T	2,86T
$M_{\text{máx}}$	9,11T.m	7,41T.m

Para ambas direcciones, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso y son de diseño, no siendo necesario amplificarlas por 1,25 al no superar el 30% del cortante total.

v) ANALISIS COMPARATIVO

En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y la obtención del momento flector máximo para el Sismo Y+ mediante el análisis tiempo-historia usando el acelerograma Lima 1966.

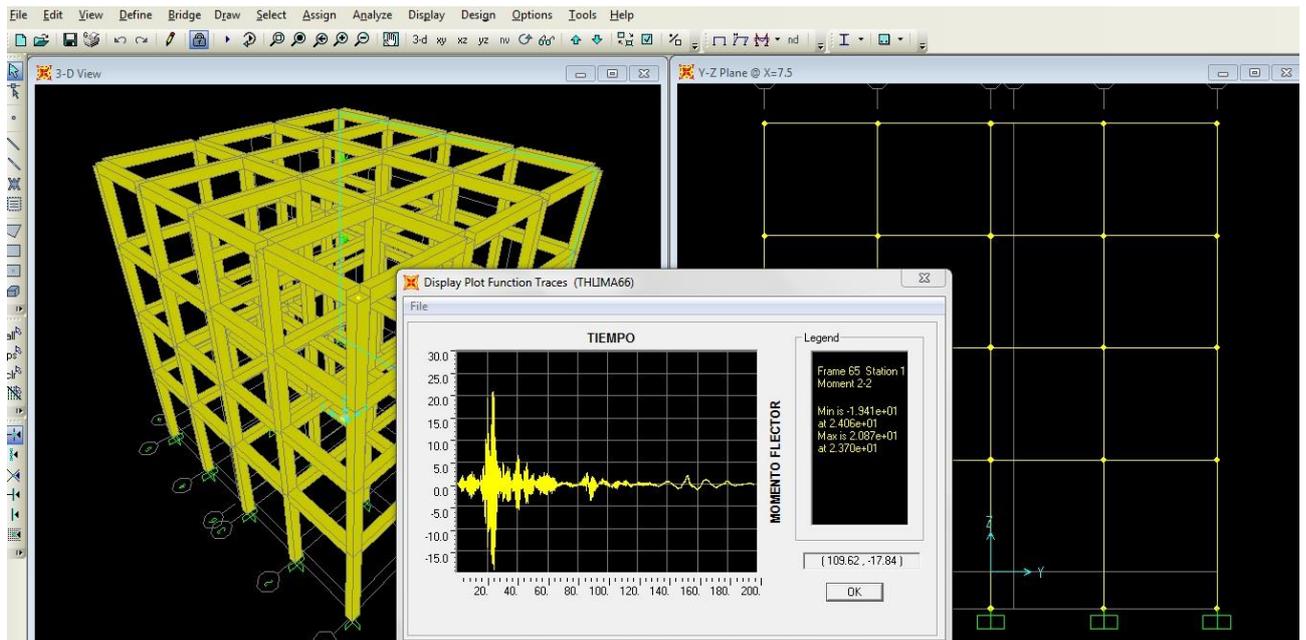


Tabla 5

Desplazamiento y fuerza interna	Espectral (sismo Y+)	Tiempo-Historia (sismo Y+)
$Y_{\text{máx}}$ (edificio)	66,20mm	34,30mm
$N_{\text{máx}}$	7,80T	24,94T
$V_{\text{máx}}$	2,86T	8,05T
$M_{\text{máx}}$	7,41T.m	20,87T.m

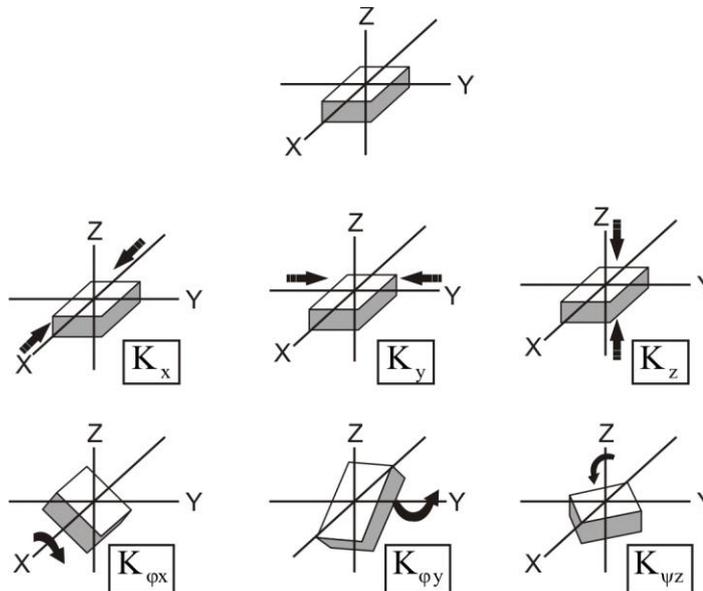
Como se podrá apreciar, en el análisis tiempo-historia se obtienen mayores fuerzas internas y menor desplazamiento, siendo las variaciones muy grandes, a pesar que dicho acelerograma es equivalente a 0,274g y el análisis espectral casi igual, llegando a la conclusión que el análisis espectral es referencial o el acelerograma de Lima 1966 no es confiable, mercedo investigaciones serias al respecto.

**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)**  
**EXAMEN FINAL**  
**CICLO 2011-02**

**Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro**  
**Sección : CI81**  
**Duración : 170 minutos**

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes (cada pregunta vale 1 punto):

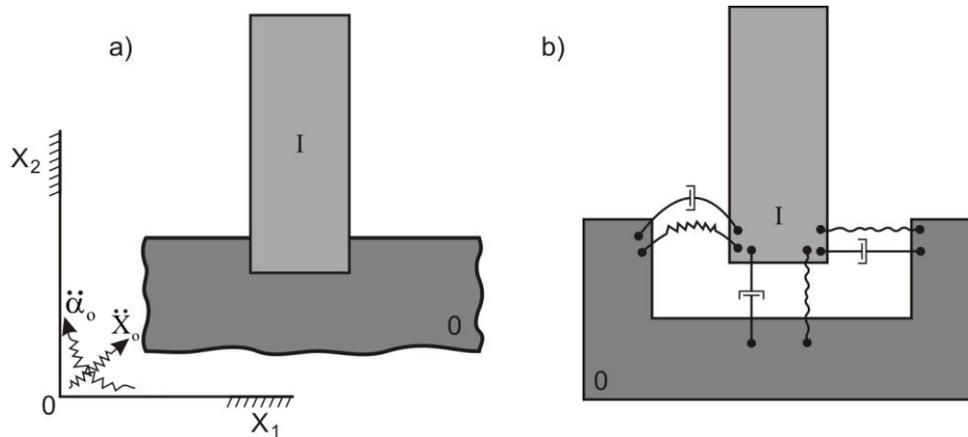
1. Explique el siguiente gráfico e indique que significa cada parámetro



- Indique cómo se obtiene la característica de amortiguación del suelo en función de su amortiguación relativa, coeficiente de rigidez de interacción suelo-estructura y masa de la cimentación
- ¿Qué entiende por alabeo en losas y por qué ocurre?
- Si al analizar una edificación, se obtienen mayores fuerzas internas sin interacción, que con el modelo de interacción suelo-estructura, Usted afirmaría que su modelación ha sido correcta o no y por qué.
- Indique 3 aportes del modelo dinámico de interacción suelo-estructura de Rayanna B. y Munirudrappa N.

II PARTE:

- Determinar la frecuencia y período de vibración libre de una zapata de área  $12\text{m}^2$  y que transmite una presión uniforme sobre el terreno. La masa de la zapata es  $30T$ , la masa del suelo ubicado sobre la zapata es  $4,5T$  y el coeficiente de balasto es  $25\text{MN/m}^3$  (2 puntos)
- Describa el modelo de cálculo de interacción suelo-estructura del edificio mostrado en la figura, modelado como un cuerpo sólido y considerando una base no inercial tipo Winkler (2 puntos)



### III PARTE:

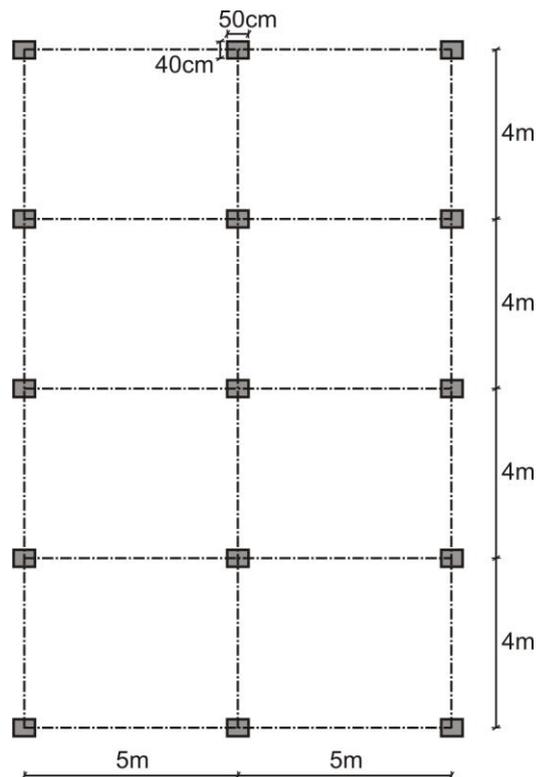
8. Se tiene una edificación de 3 pisos y destinada para aulas de centro educativo, proyectada en la ciudad de Trujillo, con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico dinámico espectral, considerando:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100\text{T} / \text{m}^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706\text{T} / \text{m}^2$
Coefficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20\text{cm}$ (pisos 1 y 2) $e = 17\text{cm}$ (piso 3)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 143,925T Piso 2 = 136,725T Piso 3 = 116,913T
Zapatas aisladas de dimensiones	1,3m x 1,2m x 0,4m
Profundidad de desplante	1m
Tipo de suelo	Arena densa
Coefficiente de Poisson del suelo	$\mu_s = 0,35$

Se pide:

- i) Calcular la excentricidad accidental, masas a nivel de entrepisos y factor de escala (1 punto)
- ii) Determinar los coeficientes de rigidez para el modelo dinámico Barkan D.D., considerando una distribución uniforme de esfuerzos (todas las zapatas son iguales y centradas) (2 puntos)
- iii) Calcular las masas de las zapatas (1.5 puntos)
- iv) Modelar con el SAP2000 y determinar los 8 primeros períodos de vibración (2.5 puntos)
- v) Efectuar el control de desplazamientos laterales para ambas direcciones (1 punto)
- vi) Determinar las fuerzas internas máximas, indicando los elementos en los cuales surgen dichas fuerzas internas (2 puntos)
- vii) Realizar un comentario acerca de la comparación de los resultados obtenidos anteriormente, con los obtenidos sin interacción suelo-estructura, mostrados en la siguiente tabla. (1 punto)

Desplazamiento y fuerza interna	Común (sismo X+)	Común (sismo Y+)
Desplazamiento máximo	71,01mm	75,99mm
$N_{\text{máx}}$	8,05T	8,29T
$V_{\text{máx}}$	5,07T	3,82T
$M_{\text{máx}}$	13,70T.m	9,87T.m



Monterrico, 01 de diciembre de 2011

## SOLUCIONARIO DE EXAMEN FINAL

### CICLO 2011-02

#### I PARTE:

1. En el gráfico, se muestran los coeficientes de rigidez de interacción suelo-estructura, siendo:

$K_x, K_y$  - coeficientes de rigidez de desplazamiento elástico uniforme en las direcciones X e Y

$K_z$  - coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme.

$K_{\varphi x}, K_{\varphi y}$  - coeficiente de rigidez de compresión no uniforme.

$K_{\psi z}$  - coeficiente de rigidez de desplazamiento no uniforme.

2. Las características de amortiguación del suelo, necesarias para el cálculo de interacción suelo-estructura considerando la amortiguación del suelo, se obtendrán de la siguiente manera:

$$B_x = 2\beta_x \sqrt{K_x M_x}$$

$$B_y = 2\beta_y \sqrt{K_y M_y}$$

$$B_z = 2\beta_z \sqrt{K_z M_z}$$

$$B_{\varphi x} = 2\beta_{\varphi x} \sqrt{K_{\varphi x} M_{\varphi x}}$$

$$B_{\varphi y} = 2\beta_{\varphi y} \sqrt{K_{\varphi y} M_{\varphi y}}$$

$$B_{\psi z} = 2\beta_{\psi z} \sqrt{K_{\psi z} M_{\psi z}}$$

Donde:

B - característica de amortiguación del suelo

$\beta$  - amortiguación relativa del suelo

K - coeficiente de rigidez de interacción suelo-estructura

M - masa de la cimentación

3. ALABEO EN LOSAS. Sucede cuando dos nudos opuestos por la diagonal se levantan y los otros dos nudos opuestos en la otra diagonal descienden.

El problema de alabeo en losas, es una falla típica que se produce en edificaciones en zonas sísmicas, apareciendo como consecuencia de un sismo y que los ingenieros estructurales no llegan a entender este fenómeno, debido a que consideran a las losas como diafragmas rígidos.

Esta falla se produce, debido a la interacción suelo-estructura, siendo la única forma de determinar dicho problema, incorporando al suelo en el cálculo estructural.

4. Si se produce lo indicado, se tendrá una modelación estructural correcta, siempre y cuando pase los controles de derivas de entrepisos.

Esto se produce, debido a que el suelo absorbe una parte de la energía del sismo y transmite al edificio una menor cantidad, no siendo necesario rigidizar mucho la superestructura.

Esto implica, que la interacción suelo-estructura nos permite optimizar estructuralmente las dimensiones de los elementos de corte.

5. Los principales aportes del modelo dinámico de interacción suelo-estructura de Rayanna B. y Munirudrappa N. (India) son:

- Incorporó la masa de la cimentación al cálculo estructural.

- Consideró los movimientos de desplazamiento lateral y rotación alrededor del eje perpendicular al plano de vibración.
- Consideró los coeficientes de rigidez y la amortiguación del suelo.

## II PARTE:

6. La masa total que se transmite sobre el terreno es:

$$M = 30 + 4,5 = 34,5T = 34,5 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

La frecuencia de vibración libre será:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}} = \sqrt{\frac{C_1 A}{M}} = \sqrt{\frac{25 \cdot 10^6 \cdot 12}{34,5 \cdot 10^3}} = 93,25 \text{ s}^{-1}$$

De esta manera, el período de vibración libre será:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \cdot 3,14}{93,25} = 0,067 \text{ s}$$

7. Por condición de la pregunta, el edificio ha sido modelado como un cuerpo sólido, no existiendo la inercia de la base, es decir, una base no inercial tipo Winkler. Las conexiones elásticas, que muestran las propiedades dinámicas de la base de fundación, se debe de considerar uniformemente distribuida en la superficie de contacto de los dos cuerpos sólidos, habiendo sido modelado el edificio (I) y la base de fundación (O), con los vectores de movimiento  $\vec{X}_o(t)$  y  $\alpha_o(t)$ , mostrado en la figura a)

Para diagramas lineales de deformación de las conexiones rígidas, las conexiones elásticas uniformemente distribuidas, se pueden reemplazar por rigideces equivalentes, tipo resortes elásticos, mostrados en la figura b)

El edificio realiza los movimientos de desplazamiento lateral, asentamiento y giro alrededor del eje perpendicular al plano de la figura.

La mayoría de modelos de cálculo son sistemas asimétricos, expresados como tres ecuaciones diferenciales no lineales, que describen perfectamente el modelo de cálculo mostrado en la figura b)

## III PARTE:

8. i) EXCENRICIDAD ACCIDENTAL

$$e_x = 0,05 \cdot 10,5 = 0,525 \text{ m}$$

$$e_y = 0,05 \cdot 16,4 = 0,82 \text{ m}$$

MASAS A NIVEL DE ENTREPISOS

Piso 3:

$$M_{t(3)} = \frac{116,913}{9,81} = 11,918T \cdot s^2 / m$$

$$M_{r(3)} = \frac{11,918(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 376,619T \cdot s^2 \cdot m$$

Piso 2:

$$M_{t(2)} = \frac{136,725}{9,81} = 13,937T \cdot s^2 / m$$

$$M_{r(2)} = \frac{13,937(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 440,421T.s^2.m$$

Piso 1:

$$M_{t(1)} = \frac{143,925}{9,81} = 14,671T.s^2 / m$$

$$M_{r(1)} = \frac{14,671(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 463,616T.s^2.m$$

FACTOR DE ESCALA

$$F.E. = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,4.1,5.1,0.9,81}{8} = 0,73575$$

ii) COEFICIENTES DE RIGIDEZ POR EL MODELO BARKAN D.D.

De acuerdo a la tabla 2.1 del libro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" del Ph.D. Genner Villarreal Castro, se tendrá  $C_o = 2,6kg/cm^3$  (arena densa)

Calculamos la magnitud de la presión estática del suelo "ρ" para cada zapata:

$$\rho = \frac{116913 + 136725 + 143925 + 15.2400.1,3.1,2.0,4}{15.130.120} = 1,795kg/cm^2$$

Por la fórmula 2.7 del mismo texto, calculamos  $D_o$

$$D_o = \frac{1 - 0,35}{1 - 0,5.0,35} . 2,6 = 2,048kg/cm^3$$

Ahora, calculamos los coeficientes  $C_x, C_y, C_z, C_{\phi x}, C_{\phi y}$  por la fórmula 2.6 del mismo texto

$$C_x = C_y = 2,048 \left[ 1 + \frac{2(1,3 + 1,2)}{1.1,3.1,2} \right] \sqrt{\frac{1,795}{0,2}} = 25,800kg/cm^3 = 25800T/m^3$$

$$C_z = 2,6 \left[ 1 + \frac{2(1,3 + 1,2)}{1.1,3.1,2} \right] \sqrt{\frac{1,795}{0,2}} = 32,754kg/cm^3 = 32754T/m^3$$

$$C_{\phi x} = 2,6 \left[ 1 + \frac{2(1,3 + 3.1,2)}{1.1,3.1,2} \right] \sqrt{\frac{1,795}{0,2}} = 56,721kg/cm^3 = 56721T/m^3$$

$$C_{\phi y} = 2,6 \left[ 1 + \frac{2(1,2 + 3.1,3)}{1.1,3.1,2} \right] \sqrt{\frac{1,795}{0,2}} = 58,718kg/cm^3 = 58718T/m^3$$

Por la fórmula 2.4 del mismo texto, determinamos los coeficientes de rigidez  $K_x, K_y, K_z, K_{\phi x}, K_{\phi y}$

$$K_x = K_y = 25800.1,3.1,2 = 40248T/m$$

$$K_z = 32754.1,3.1,2 = 51096,24T/m$$

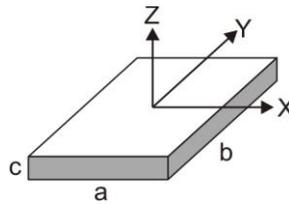
$$K_{\phi x} = 56721 \cdot \frac{1,3.1,2^3}{12} = 10618,17T.m$$

$$K_{\phi y} = 58718 \cdot \frac{1,2.1,3^3}{12} = 12900,34T.m$$

Los coeficientes de rigidez  $K_x, K_y, K_z, K_{\phi x}, K_{\phi y}$  deben asignarse en el centroide de cada zapata y en este caso, son iguales para todas las zapatas.

iii) MASAS EN LAS ZAPATAS

Esquemizamos una zapata típica con dimensiones a, b, c y con ejes centroidales X, Y, Z, tal como se muestra en la figura.



Aplicamos lo indicado en el capítulo 2 del libro “Interacción suelo-estructura en edificios altos” del Ph.D. Genner Villarreal Castro, para calcular masas de cimentaciones tipo cabezal con pilotes, plateas de cimentación y zapatas aisladas, teniendo en consideración que en los dos primeros casos se considerará como placa rectangular delgada, debido a que la proporción de dos de sus lados respecto al tercero es muy grande. En cambio, para el caso de zapatas aisladas, debe considerarse como paralelepípedo rectangular.

Ahora, calculamos las masas traslacionales respecto a los ejes centroidales X, Y, Z y las masas rotacionales respecto a los ejes de contacto suelo-zapata, indicados como X', Y', Z'

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{zapata}}{g} = \frac{2,4 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 0,4}{9,81} = 0,152 T \cdot s^2 / m$$

$$M_{\varphi x'} = M_t d^2 + I_{mx} = M_t \left( \frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t (b^2 + c^2)}{12} = 0,152 \cdot 0,2^2 + \frac{0,152 (1,2^2 + 0,4^2)}{12} = 0,026 T \cdot s^2 \cdot m$$

$$M_{\varphi y'} = M_t d^2 + I_{my} = M_t \left( \frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t (a^2 + c^2)}{12} = 0,152 \cdot 0,2^2 + \frac{0,152 (1,3^2 + 0,4^2)}{12} = 0,029 T \cdot s^2 \cdot m$$

$$M_{\psi z'} = I_{mz} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12} = \frac{0,152 (1,3^2 + 1,2^2)}{12} = 0,039 T \cdot s^2 \cdot m$$

Siendo:

$P_{zapata}$  - peso de la zapata

d - distancia desde el centro de gravedad de la masa de la zapata hasta la superficie de contacto con el suelo de fundación.

$I_{mx}, I_{my}, I_{mz}$  - momentos de inercia de masa respecto a X, Y, Z

Para el modelo dinámico Barkan D.D. no es necesario calcular el momento  $M_{\psi z'}$ , debido a que se debe de restringir la rotación en Z, pero lo realizamos con la intención que el lector pueda aplicarlo a otro modelo dinámico.

Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de cada zapata y en este caso, son iguales para todas las zapatas.

iv) PERIODOS DE VIBRACION

Tabla 1

MODO	PERIODO (s)
1	0,63631
2	0,60266
3	0,45958
4	0,19104
5	0,17832
6	0,13746
7	0,11128
8	0,09660

v) CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES

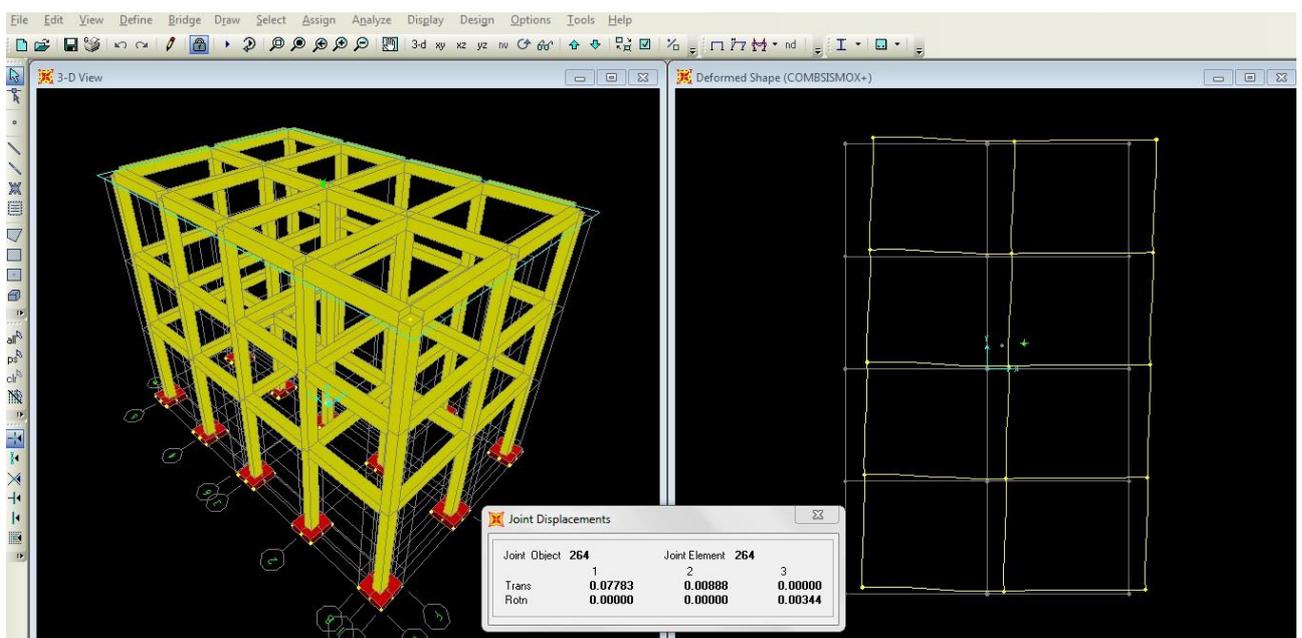
Tabla 2: Sismo X+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
3	77,83mm	0,003	SI
2	65,85mm	0,005	SI
1	43,77mm	0,009	NO

Tabla 3: Sismo Y+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
3	82,76mm	0,003	SI
2	72,29mm	0,005	SI
1	51,92mm	0,010	NO

De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en X e Y, siendo necesario reforzar la estructura en ambos sentidos.



En la figura de la página anterior, se muestra el edificio modelado en 3D y la obtención del desplazamiento máximo en el centro de masa del piso 3 para COMBSISMOX+

vi) FUERZAS INTERNAS MAXIMAS

Tabla 4

Fuerza interna	Barkan D.D. (sismo X+)	Barkan D.D. (sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	7,32T	7,41T
$V_{\text{máx}}$	4,49T	3,46T
$M_{\text{máx}}$	11,84T.m	9,28T.m

Para ambas direcciones, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso.

vii) ANALISIS COMPARATIVO

Como se podrá apreciar, el efecto de interacción suelo-estructura incrementa los períodos de vibración y los desplazamientos laterales, haciendo más exigente el control de derivas de entresijos. Esto se debe, a que el cimiento se desplaza lateralmente, verticalmente y gira alrededor de sus ejes.

Respecto a las fuerzas internas, el efecto de interacción suelo-estructura reduce en ambas direcciones la fuerza axial, fuerza cortante y momento flector. Esto se debe, a que la cimentación absorbe parte de la energía del sismo y transmite una menor cantidad a ser disipada por la superestructura.

Un comentario especial merece el caso del momento flector, considerando la interacción suelo-estructura, porque en ambas direcciones los valores máximos surgen en la conexión columna-viga, lo que nos hace pensar que para este edificio será necesario efectuar un análisis adicional de posible aparición de rótula plástica en dicha zona, debido a su concentración de esfuerzos.

**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)**  
**EXAMEN FINAL**  
**CICLO 2012-01**

**Profesor** : Ph.D. Genner Villarreal Castro  
**Sección** : CI81  
**Duración** : 170 minutos

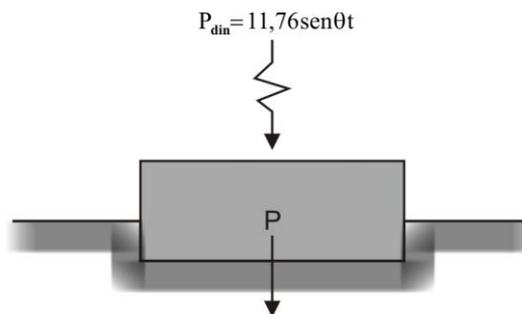
---

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes (cada pregunta vale 1 punto):

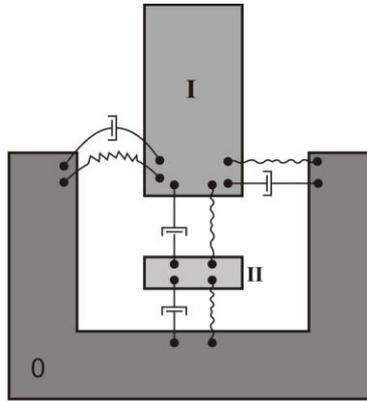
1. Utilizando los coeficientes de rigidez equivalente del sistema suelo-zapata aislada-superestructura, indique cómo se ingresa el comportamiento elástico del suelo
2. Para el caso anterior, cómo se modela la zapata
3. Indique cuántos coeficientes de rigidez equivalente se calculan para el modelo dinámico Barkan D.D. y que grado de libertad se debe restringir
4. Si al analizar una edificación, se obtienen mayores períodos de vibración con interacción suelo-estructura, que sin interacción, Usted afirmaría que es correcto o no y porqué
5. Indique 3 deficiencias del modelo dinámico del péndulo invertido

II PARTE:

6. Una zapata de peso  $P = 196\text{kN}$  y área  $A = 4\text{m}^2$  soporta una carga dinámica  $P_{\text{din}} = 11,76\text{sen}\theta t$ , siendo el número de revoluciones  $\theta = 285\text{rev}/\text{min}$ . Determinar el esfuerzo en la base de la zapata sin amortiguación y con amortiguación, si el parámetro de amortiguación es  $\beta = 0,2$  y el coeficiente de balasto es  $C_1 = 4900\text{kN}/\text{m}^3$  (4 puntos)



7. Describa el modelo de cálculo de interacción suelo-estructura del edificio mostrado en la figura, modelado como un cuerpo sólido y la base inercial (2 puntos)



### III PARTE:

8. Se tiene una edificación de 3 pisos y destinada para aulas de centro educativo, proyectada en la ciudad de Trujillo, con sistema estructural aperticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico dinámico espectral, considerando:

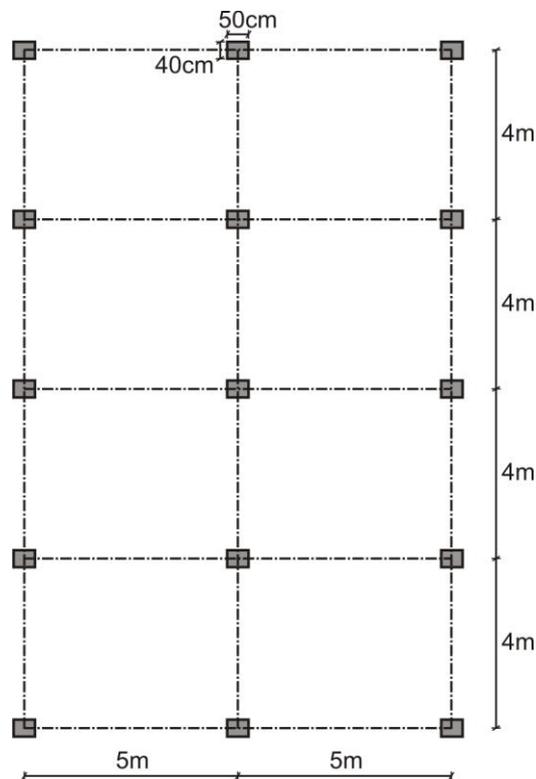
Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100\text{T} / \text{m}^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706\text{T} / \text{m}^2$
Coefficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20\text{cm}$ (pisos 1 y 2) $e = 17\text{cm}$ (piso 3)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 143,925T Piso 2 = 136,725T Piso 3 = 116,913T
Zapatas aisladas de dimensiones	1,3m x 1,2m x 0,4m
Profundidad de desplante	1m
Masas de las zapatas aisladas	$M_x = M_y = M_z = 0,152\text{T} \cdot \text{s}^2 / \text{m}$ $M_{\phi x'} = 0,026\text{T} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}$ $M_{\phi y'} = 0,029\text{T} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}$ $M_{\phi z'} = 0,039\text{T} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}$
Tipo de suelo	Arena densa
Módulo de elasticidad del suelo	$E_s = 70\text{MPa}$

Se pide:

- i) Calcular la excentricidad accidental, masas a nivel de entrepisos y factor de escala (1 punto)
- ii) Determinar los coeficientes de rigidez para el modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, considerando que todas las zapatas son iguales y centradas (2 puntos)
- iii) Modelar con el SAP2000 y determinar los 8 primeros períodos de vibración (2 puntos)
- iv) Efectuar el control de desplazamientos laterales para ambas direcciones (1 punto)

- v) Determinar las fuerzas internas máximas, indicando los elementos en los cuales surgen dichas fuerzas internas (2 puntos)
- vi) Realizar un comentario acerca de la comparación de los resultados obtenidos anteriormente, con los obtenidos sin interacción suelo-estructura, mostrados en la siguiente tabla (1 punto)

Desplazamiento y fuerza interna	Común (sismo X+)	Común (sismo Y+)
Desplazamiento máximo	71,01mm	75,99mm
$N_{\text{máx}}$	8,05T	8,29T
$V_{\text{máx}}$	5,07T	3,82T
$M_{\text{máx}}$	13,70T.m	9,87T.m



Monterrico, 05 de julio de 2012

## SOLUCIONARIO DE EXAMEN FINAL

### CICLO 2012-01

#### I PARTE:

1. El comportamiento elástico del suelo es asumido por los coeficientes de rigidez equivalente, los cuales se ingresan en el centroide de la zapata aislada y son en total seis, siendo:

$K_x, K_y$  - coeficientes de rigidez de desplazamiento elástico uniforme en las direcciones X e Y

$K_z$  - coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme

$K_{\phi x}, K_{\phi y}$  - coeficiente de rigidez de compresión no uniforme

$K_{\psi z}$  - coeficiente de rigidez de desplazamiento no uniforme

2. La zapata aislada se modela como un elemento infinitamente rígido, con sus dimensiones reales y asumiendo las siguientes propiedades:

Módulo de elasticidad  $E_{zapata} = 9.10^8 \text{ T/m}^2$

Coficiente de Poisson  $\mu_{zapata} = 0,05$

Coficiente de expansión térmica  $\alpha_{zapata} = 1,17.10^{-5} / ^\circ\text{C}$

En el centroide de la zapata se asignan sus masas traslacionales  $M_x, M_y, M_z$  respecto a sus ejes centroidales X, Y, Z y sus masas rotacionales  $M_{\phi x'}, M_{\phi y'}, M_{\psi z'}$  respecto a los ejes de contacto suelo-zapata, indicados como X', Y', Z'

3. Para el modelo dinámico Barkan D.D. se calculan cinco coeficientes de rigidez, que son  $K_x, K_y, K_z, K_{\phi x}, K_{\phi y}$  y se restringe la rotación alrededor del eje Z, debido a la falta del coeficiente de rigidez de desplazamiento no uniforme  $K_{\psi z}$
4. Si se produce lo indicado, es correcto, porque el período de vibración con interacción suelo-estructura, siempre es mayor que sin interacción, debido a que con interacción suelo-estructura se adicionan las masas traslacionales y rotacionales de la cimentación, lo que genera un mayor período de vibración.
5. Las principales deficiencias del modelo del péndulo invertido son:
  - No describe el trabajo espacial del edificio
  - No considera la interacción suelo-estructura
  - Sobredimensiona los elementos estructurales, debido a que sus resultados de desplazamientos laterales y fuerzas de diseño, son muy altos en comparación con una estructura en 3D

#### II PARTE:

6. Se sabe que:

$$\sigma = \sigma_{est} + \sigma_{din}$$

Siendo:

$$\sigma_{est} = \frac{P}{A} = \frac{196.10^3}{4} = 49\text{kPa}$$

$$\sigma_{din} = \frac{P_{din}}{A} k_{din} = \frac{11,76}{4} k_{din} = 2,9k_{din} \text{ (kPa)}$$

Luego:

$$\omega = \frac{300}{\sqrt{y_{\text{est}}}} = \frac{300}{\sqrt{1}} = 300 \text{ rev / min}$$

$$y_{\text{est}} = \frac{\sigma_{\text{est}}}{C_1} = \frac{49}{4900} = 0,01 \text{ m} = 1 \text{ cm}$$

Ahora, determinamos los coeficientes dinámicos para los casos sin amortiguación y con amortiguación.

CASO 1: Sin amortiguación

$$k_{\text{din}} = \frac{1}{1 - \left(\frac{\theta}{\omega}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{285}{300}\right)^2} = 10,256$$

CASO 2: Con amortiguación

$$k_{\text{din}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\theta}{\omega}\right)^2\right]^2 + \beta^2 \left(\frac{\theta}{\omega}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \frac{285^2}{300^2}\right]^2 + 0,2^2 \left(\frac{285^2}{300^2}\right)}} = 4,682$$

De esta manera, determinamos los esfuerzos en la base de zapata, para los casos sin amortiguación y con amortiguación.

CASO 1: Sin amortiguación

$$\sigma = 49 + 2,9 \cdot 10,256 = 78,742 \text{ kPa}$$

CASO 2: Con amortiguación

$$\sigma = 49 + 2,9 \cdot 4,682 = 62,578 \text{ kPa}$$

De los resultados obtenidos, podemos concluir que la amortiguación disminuye en 2,2 veces el esfuerzo dinámico.

7. Por condición de la pregunta, el edificio ha sido modelado como un cuerpo sólido y se considera el movimiento de la base inercial en la dirección vertical. En general, se trata de un modelo de cálculo asimétrico, compuesto por dos masas, la superior (I) que corresponde al edificio, la inferior (II) que es el suelo en movimiento y unido al edificio, la base de fundación (O), con los vectores de movimiento  $\vec{X}_o(t)$  y  $\alpha_o(t)$

El edificio realiza los movimientos de desplazamiento lateral, asentamiento y giro alrededor del eje perpendicular al plano de la figura.

El modelo matemático para el presente caso, está compuesto por un sistema de cuatro ecuaciones diferenciales no lineales, que describen perfectamente el modelo de cálculo mostrado en la figura.

### III PARTE:

8. i) EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL

$$e_x = 0,05 \cdot 10,5 = 0,525 \text{ m}$$

$$e_y = 0,05 \cdot 16,4 = 0,82 \text{ m}$$

## MASAS A NIVEL DE ENTREPISOS

Piso 3:

$$M_{t(3)} = \frac{116,913}{9,81} = 11,918T.s^2 / m$$

$$M_{r(3)} = \frac{11,918(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 376,619T.s^2.m$$

Piso 2:

$$M_{t(2)} = \frac{136,725}{9,81} = 13,937T.s^2 / m$$

$$M_{r(2)} = \frac{13,937(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 440,421T.s^2.m$$

Piso 1:

$$M_{t(1)} = \frac{143,925}{9,81} = 14,671T.s^2 / m$$

$$M_{r(1)} = \frac{14,671(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 463,616T.s^2.m$$

## FACTOR DE ESCALA

$$F.E. = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,4.1,5.1,0.9,81}{8} = 0,73575$$

## ii) COEFICIENTES DE RIGIDEZ POR EL MODELO NORMA RUSA

Calculamos el coeficiente de compresión elástica uniforme por la fórmula 2.17 del libro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" del Ph.D. Genner Villarreal Castro

$$C_z = 1,5.7000 \left( 1 + \sqrt{\frac{10}{1,3.1,2}} \right) = 37084,41T / m^3$$

Por la fórmula 2.18 del mismo libro, calculamos los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme, compresión elástica no uniforme y desplazamiento elástico no uniforme

$$C_x = C_y = 0,7.37084,41 = 25959,09T / m^3$$

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = 2.37084,41 = 74168,82T / m^3$$

$$C_{\psi z} = 37084,41T / m^3$$

A través de la fórmula 2.16, calculamos los coeficientes de rigidez  $K_x, K_y, K_z, K_{\varphi x}, K_{\varphi y}, K_{\psi z}$

$$K_x = K_y = 25959,09.1,3.1,2 = 40496,18T / m$$

$$K_z = 37084,41.1,3.1,2 = 57851,68T / m$$

$$K_{\varphi x} = 74168,82. \frac{1,3.1,2^3}{12} = 13884,40T.m$$

$$K_{\varphi y} = 74168,82. \frac{1,2.1,3^3}{12} = 16294,89T.m$$

$$K_{\psi z} = 37084,41 \left( \frac{1,3 \cdot 1,2^3}{12} + \frac{1,2 \cdot 1,3^3}{12} \right) = 15089,64 \text{T.m}$$

Los coeficientes de rigidez  $K_x, K_y, K_z, K_{\phi x}, K_{\phi y}, K_{\psi z}$  deben asignarse en el centroide de cada zapata y en este caso, son iguales para todas las zapatas.

iii) PERIODOS DE VIBRACION

Tabla 1

MODO	PERIODO (s)
1	0,62347
2	0,59132
3	0,45158
4	0,18968
5	0,17685
6	0,13651
7	0,11115
8	0,09643

iv) CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES

Tabla 2: Sismo X+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
3	76,75mm	0,003	SI
2	64,59mm	0,005	SI
1	42,28mm	0,008	NO

Tabla 3: Sismo Y+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
3	81,33mm	0,003	SI
2	70,68mm	0,005	SI
1	50,03mm	0,010	NO

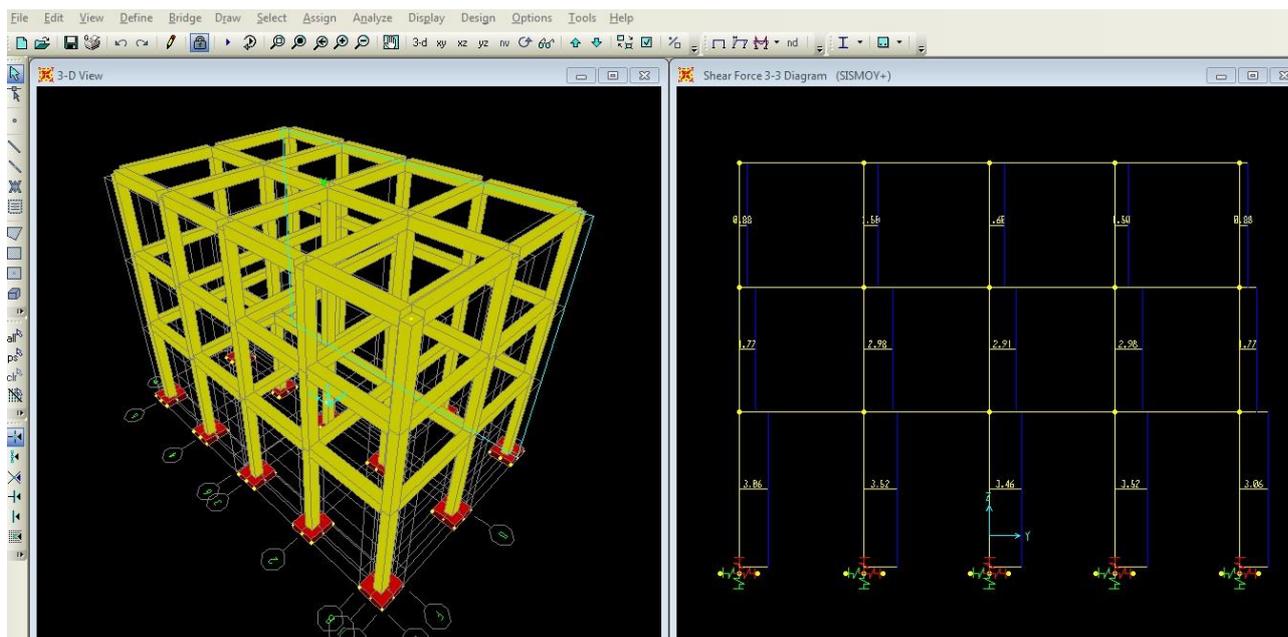
De los resultados obtenidos, se desprende que no cumple en X e Y, siendo necesario reforzar la estructura en ambos sentidos.

v) FUERZAS INTERNAS MAXIMAS

Tabla 4

Fuerza interna	Norma Rusa (sismo X+)	Norma Rusa (sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	7,42T	7,51T
$V_{\text{máx}}$	4,58T	3,52T
$M_{\text{máx}}$	11,79T.m	9,24T.m

Para ambas direcciones, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso. En la siguiente figura, se muestra el edificio modelado en 3D y la obtención de la fuerza cortante máxima para la dirección más desfavorable, es decir, cuando se analiza el Sismo Y+



#### vi) ANALISIS COMPARATIVO

Como se podrá apreciar, el efecto de interacción suelo-estructura incrementa los períodos de vibración y los desplazamientos laterales, haciendo más exigente el control de derivas de entrepisos. Esto se debe, a que el cimiento se desplaza lateralmente, verticalmente y gira alrededor de sus ejes.

Respecto a las fuerzas internas, el efecto de interacción suelo-estructura reduce en ambas direcciones la fuerza axial, fuerza cortante y momento flector. Esto se debe, a que la cimentación absorbe parte de la energía del sismo y transmite una menor cantidad a ser disipada por la superestructura.

Un comentario especial merece el caso del momento flector, considerando la interacción suelo-estructura, porque en ambas direcciones los valores máximos surgen en la conexión columna-viga, lo que nos hace pensar que para este edificio será necesario efectuar un análisis adicional de posible aparición de rótula plástica en dicha zona, debido a su concentración de esfuerzos.

**INGENIERIA SISMO-RESISTENTE (CI18)  
EXAMEN FINAL  
CICLO 2012-02**

**Profesor : Ph.D. Genner Villarreal Castro**  
**Sección : CI81**  
**Duración : 170 minutos**

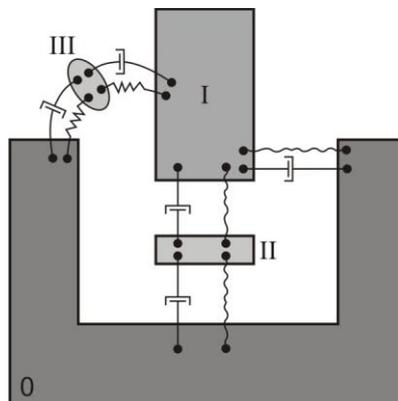
---

I PARTE: Responda las siguientes interrogantes (cada pregunta vale 1 punto):

1. Utilizando los coeficientes de rigidez equivalente del sistema suelo-platea-superestructura, indique cómo se ingresa el comportamiento elástico del suelo
2. Para el caso anterior, cómo se modela la platea de cimentación
3. Indique cuántos coeficientes de rigidez equivalente se calculan para el modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-97
4. Si al analizar una edificación, se obtienen mayores desplazamientos con interacción suelo-estructura, que sin interacción, Usted afirmaría que es correcto o no y porqué
5. Indique 2 aportes importantes del modelo dinámico de interacción suelo-estructura de Kobori T.

II PARTE:

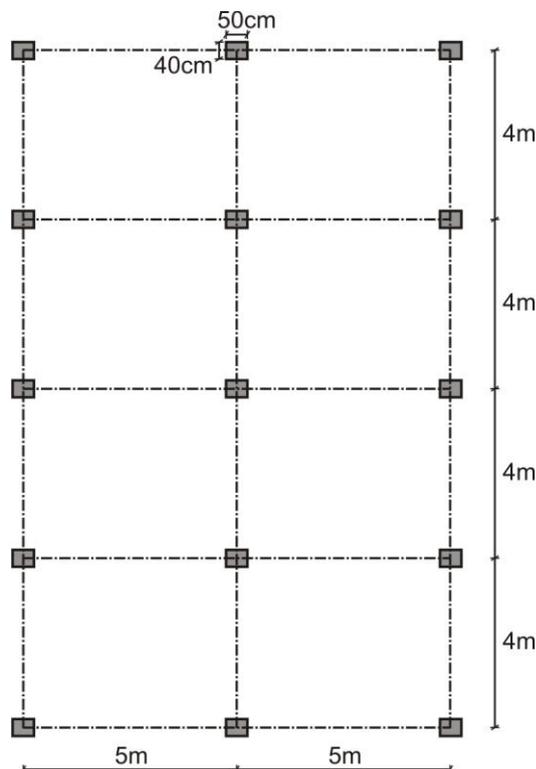
6. Un cimiento realiza un movimiento de desplazamiento vertical con una frecuencia  $\omega = 127,28s^{-1}$  y transmite una presión uniforme sobre el terreno, cuyo coeficiente de balasto es  $C_1 = 36MN/m^3$ . La masa del cimiento y de los agregados sobre él es  $M = 40T$ . Determinar el área de la base de la cimentación (2 puntos)
7. Describa el modelo de cálculo de interacción suelo-estructura del edificio mostrado en la figura, modelado como un cuerpo sólido y la base inercial (2 puntos)



### III PARTE:

8. Se tiene una edificación de 3 pisos y destinada para centro comercial, proyectada en la ciudad de Iquitos, con sistema estructural aporticado, tal como se muestra en la figura y con altura de entrepiso de 4m. Realice un análisis sísmico dinámico espectral, considerando:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c = 2100\text{T}/\text{m}^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2173706\text{T}/\text{m}^2$
Coefficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20\text{cm}$ (pisos 1 y 2) $e = 17\text{cm}$ (piso 3)
Vigas transversales (eje horizontal del plano)	40cm x 50cm
Vigas longitudinales (eje vertical del plano)	50cm x 50cm
Pesos para el análisis sísmico	Piso 1 = 143,925T Piso 2 = 136,725T Piso 3 = 116,913T
Plataea de cimentación de dimensiones	11m x 17m x 0,3m
Profundidad de desplante	1m
Tipo de suelo	Arena arcillosa de baja plasticidad
Coefficiente de Poisson del suelo	$\mu_s = 0,35$



Se pide:

- Calcular la excentricidad accidental, masas a nivel de entrepisos y factor de escala (1 punto)
- Determinar los coeficientes de rigidez para el modelo dinámico Barkan D.D. (2 puntos)
- Calcular las masas de la platea (2 puntos)

- iv) Modelar con el SAP2000 y determinar los 8 primeros períodos de vibración (2.5 puntos)
- v) Efectuar el control de desplazamientos laterales para ambas direcciones (1.5 puntos)
- vi) Determinar las fuerzas internas máximas, indicando los elementos en los cuales surgen dichas fuerzas internas (2 puntos)

**Monterrico, 29 de noviembre de 2012**

## SOLUCIONARIO DE EXAMEN FINAL

### CICLO 2012-02

#### I PARTE:

1. El comportamiento elástico del suelo es asumido por los coeficientes de rigidez equivalente, los cuales se ingresan en el centroide de la platea de cimentación y son en total seis, siendo:

$K_x, K_y$  - coeficientes de rigidez de desplazamiento elástico uniforme en las direcciones X e Y

$K_z$  - coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme

$K_{\phi x}, K_{\phi y}$  - coeficiente de rigidez de compresión no uniforme

$K_{\psi z}$  - coeficiente de rigidez de desplazamiento no uniforme

2. La platea de cimentación se modela como un elemento infinitamente rígido, con sus dimensiones reales y asumiendo las siguientes propiedades:

Módulo de elasticidad  $E_{\text{platea}} = 9.10^8 \text{ T/m}^2$

Coefficiente de Poisson  $\mu_{\text{platea}} = 0,05$

Coefficiente de expansión térmica  $\alpha_{\text{platea}} = 1,17.10^{-5} / ^\circ\text{C}$

En el centroide de la platea se asignan sus masas traslacionales  $M_x, M_y, M_z$  respecto a sus ejes centroidales X, Y, Z y sus masas rotacionales  $M_{\phi x}, M_{\phi y}, M_{\psi z}$  respecto a los ejes de contacto suelo-platea de cimentación, indicados como X', Y', Z'

3. Para el modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87 se calculan seis coeficientes de rigidez, que son  $K_x, K_y, K_z, K_{\phi x}, K_{\phi y}, K_{\psi z}$  y no se restringe ningún grado de libertad.
4. Si se produce lo indicado, es correcto porque el desplazamiento lateral con interacción suelo-estructura, siempre es mayor que sin interacción, debido a que cuando se considera la interacción suelo-estructura, la cimentación se desplaza lateralmente, verticalmente y gira alrededor de sus ejes, generando desplazamientos y giros adicionales del edificio.
5. Los principales aportes del modelo dinámico de interacción suelo-estructura de Kobori T. (Japón) son:
- La platea de cimentación se desplaza lateralmente y gira alrededor de su eje vertical.
  - Para sismos intensos la platea de cimentación puede despegarse del suelo, es decir, pierde contacto con el suelo de fundación.

#### II PARTE:

6. Se sabe que:

$$\omega = \sqrt{\frac{C_1 A}{M}} \quad \Rightarrow \quad \omega^2 = \frac{C_1 A}{M} \quad \therefore \quad A = \frac{M \omega^2}{C_1}$$

Reemplazamos valores y obtenemos el área de la base de la cimentación.

$$A = \frac{40.10^3 \cdot 127,28^2}{36.10^6} = 18\text{m}^2$$

7. Por condición de la pregunta, el edificio ha sido modelado como un cuerpo sólido y se considera el movimiento de la base inercial en la dirección vertical, así como un giro respecto al eje perpendicular al plano de la figura. Este modelo de cálculo asimétrico, está formado por tres masas, la superior (I) que

corresponde al edificio, la inferior (II) que es suelo en movimiento y unido al edificio, la (III) que considera el giro del suelo unido al edificio alrededor del eje horizontal y la base de fundación (O), con los vectores de movimiento  $\bar{X}_o(t)$  y  $\alpha_o(t)$

El edificio realiza los movimientos de desplazamiento lateral, asentamiento y giro alrededor del eje perpendicular al plano de la figura.

El modelo matemático para el presente caso, está compuesto por un sistema de cinco ecuaciones diferenciales no lineales, que describen perfectamente el modelo de cálculo mostrado en la figura.

### III PARTE:

#### 8. i) EXCENRICIDAD ACCIDENTAL

$$e_x = 0,05 \cdot 10,5 = 0,525\text{m}$$

$$e_y = 0,05 \cdot 16,4 = 0,82\text{m}$$

MASAS A NIVEL DE ENTREPISOS

Piso 3:

$$M_{t(3)} = \frac{116,913}{9,81} = 11,918\text{T.s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(3)} = \frac{11,918(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 376,619\text{T.s}^2 \cdot \text{m}$$

Piso 2:

$$M_{t(2)} = \frac{136,725}{9,81} = 13,937\text{T.s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(2)} = \frac{13,937(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 440,421\text{T.s}^2 \cdot \text{m}$$

Piso 1:

$$M_{t(1)} = \frac{143,925}{9,81} = 14,671\text{T.s}^2 / \text{m}$$

$$M_{r(1)} = \frac{14,671(10,5^2 + 16,4^2)}{12} = 463,616\text{T.s}^2 \cdot \text{m}$$

FACTOR DE ESCALA

$$\text{F.E.} = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,15 \cdot 1,3 \cdot 1,4 \cdot 9,81}{8} = 0,33477$$

#### ii) COEFICIENTES DE RIGIDEZ POR EL MODELO BARKAN D.D.

De acuerdo a la tabla 2.1 del libro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" del Ph.D. Genner Villarreal Castro, se tendrá  $C_o = 0,8\text{kg/cm}^3$  (arena arcillosa de baja plasticidad). Se debe indicar, que lo descrito en dicho libro se puede aplicar a plateas.

Calculamos la magnitud de la presión estática del suelo "p"

$$\rho = \frac{116913 + 136725 + 143925 + 2400 \cdot 11 \cdot 17 \cdot 0,3}{1100 \cdot 1700} = 0,284\text{kg/cm}^2$$

Por la fórmula 2.7 del mismo texto, calculamos  $D_o$

$$D_o = \frac{1 - 0,35}{1 - 0,5 \cdot 0,35} \cdot 0,8 = 0,63 \text{ kg/cm}^3$$

Ahora, calculamos los coeficientes  $C_x, C_y, C_z, C_{\phi x}, C_{\phi y}$  por la fórmula 2.6 del mismo texto

$$C_x = C_y = 0,63 \left[ 1 + \frac{2(11+17)}{1 \cdot 11 \cdot 17} \right] \sqrt{\frac{0,284}{0,2}} = 0,975 \text{ kg/cm}^3 = 975 \text{ T/m}^3$$

$$C_z = 0,8 \left[ 1 + \frac{2(11+17)}{1 \cdot 11 \cdot 17} \right] \sqrt{\frac{0,284}{0,2}} = 1,239 \text{ kg/cm}^3 = 1239 \text{ T/m}^3$$

$$C_{\phi x} = 0,8 \left[ 1 + \frac{2(11+3 \cdot 17)}{1 \cdot 11 \cdot 17} \right] \sqrt{\frac{0,284}{0,2}} = 1,585 \text{ kg/cm}^3 = 1585 \text{ T/m}^3$$

$$C_{\phi y} = 0,8 \left[ 1 + \frac{2(17+3 \cdot 11)}{1 \cdot 11 \cdot 17} \right] \sqrt{\frac{0,284}{0,2}} = 1,463 \text{ kg/cm}^3 = 1463 \text{ T/m}^3$$

Por la fórmula 2.4 del mismo texto, determinamos los coeficientes de rigidez  $K_x, K_y, K_z, K_{\phi x}, K_{\phi y}$

$$K_x = K_y = 975 \cdot 11 \cdot 17 = 182325 \text{ T/m}$$

$$K_z = 1239 \cdot 11 \cdot 17 = 231693 \text{ T/m}$$

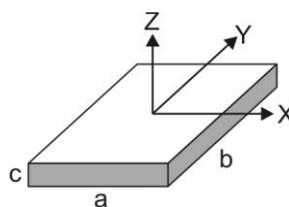
$$K_{\phi x} = 1585 \cdot \frac{11 \cdot 17^3}{12} = 7138179,58 \text{ T.m}$$

$$K_{\phi y} = 1463 \cdot \frac{17 \cdot 11^3}{12} = 2758608,42 \text{ T.m}$$

Los coeficientes de rigidez  $K_x, K_y, K_z, K_{\phi x}, K_{\phi y}$  deben asignarse en el centroide de la platea.

### iii) MASAS EN LA PLATEA

Esquematizamos una platea con dimensiones  $a, b, c$  y con ejes centroidales  $X, Y, Z$ , tal como se muestra en la figura.



Aplicamos lo indicado en el capítulo 2 del libro "Interacción suelo-estructura en edificios altos" del Ph.D. Genner Villarreal Castro, para calcular masas de cimentaciones tipo cabezal con pilotes, plateas de cimentación y zapatas aisladas, teniendo en consideración que en los dos primeros casos se considerará como placa rectangular delgada, debido a que la proporción de dos de sus lados respecto al tercero es muy grande. En cambio, para el caso de zapatas aisladas, debe considerarse como paralelepípedo rectangular.

Ahora, calculamos las masas traslacionales respecto a los ejes centroidales  $X, Y, Z$  y las masas rotacionales respecto a los ejes de contacto suelo-platea, indicados como  $X', Y', Z'$

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{\text{platea}}}{g} = \frac{2,4 \cdot 11 \cdot 17 \cdot 0,3}{9,81} = 13,725 \text{ T.s}^2 / \text{m}$$

$$M_{\phi x'} = M_t d^2 + I_{mx} = M_t \left( \frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t b^2}{12} = 13,725 \cdot 0,15^2 + \frac{13,725 \cdot 17^2}{12} = 330,852 T \cdot s^2 \cdot m$$

$$M_{\phi y'} = M_t d^2 + I_{my} = M_t \left( \frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t a^2}{12} = 13,725 \cdot 0,15^2 + \frac{13,725 \cdot 11^2}{12} = 138,702 T \cdot s^2 \cdot m$$

$$M_{\psi z'} = I_{mz} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12} = \frac{13,725 (11^2 + 17^2)}{12} = 468,937 T \cdot s^2 \cdot m$$

Siendo:

$P_{\text{plata}} -$  peso de la platea

$d -$  distancia desde el centro de gravedad de la masa de la platea hasta la superficie de contacto con el suelo de fundación

$I_{mx}, I_{my}, I_{mz} -$  momentos de inercia de masa respecto a X, Y, Z

Para el modelo dinámico Barkan D.D. no es necesario calcular el momento  $M_{\psi z'}$ , debido a que se debe restringir la rotación en Z, pero lo realizamos con la intención que el lector pueda aplicarlo a otro modelo dinámico.

Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de la platea.

#### iv) PERIODOS DE VIBRACION

Tabla 1

MODO	PERIODO (s)
1	0,61269
2	0,60230
3	0,43480
4	0,18549
5	0,17115
6	0,13426
7	0,11072
8	0,09595

#### v) CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES

Tabla 2: Sismo X+

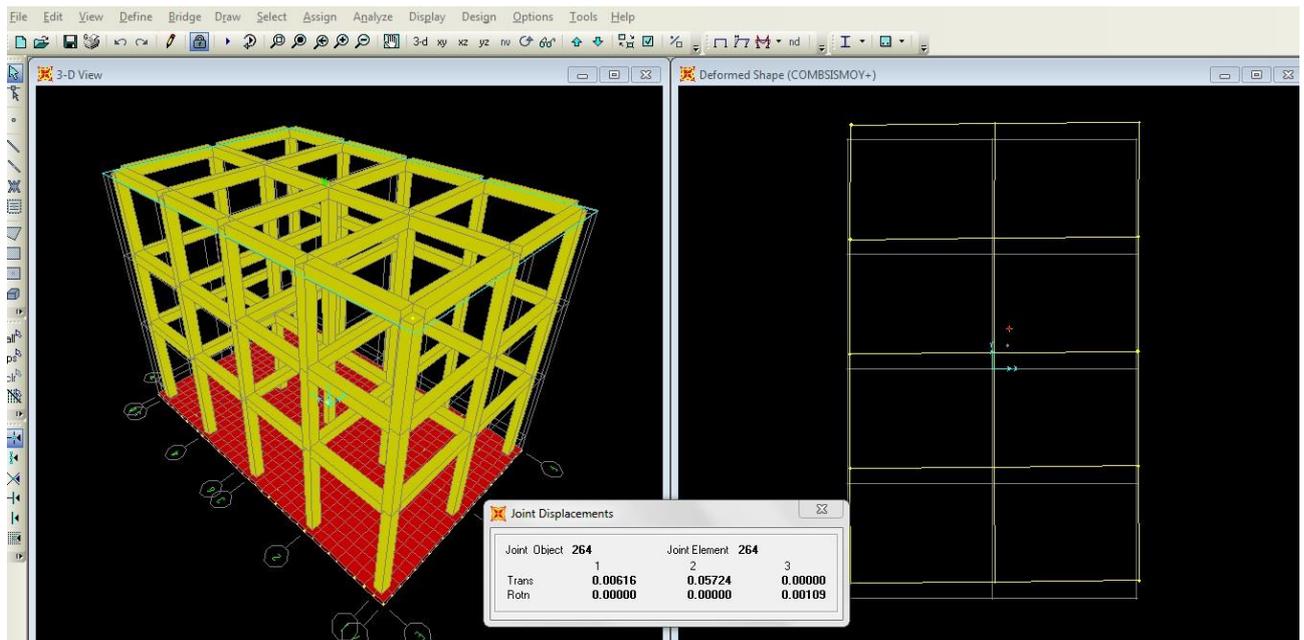
Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
3	56,81mm	0,003	SI
2	44,99mm	0,004	SI
1	26,80mm	0,005	SI

Tabla 3: Sismo Y+

Piso	Desplazamiento	Control	Cumple
3	57,24mm	0,002	SI
2	47,47mm	0,004	SI
1	30,91mm	0,006	SI

De los resultados obtenidos, se desprende que cumple para ambas direcciones.

En la siguiente figura se muestra el edificio modelado en 3D y la obtención del desplazamiento máximo en el centro de masa del piso 3 para COMBSISMOY+



vi) FUERZAS INTERNAS MAXIMAS

Tabla 4

Fuerza interna	Barkan D.D. (sismo X+)	Barkan D.D. (sismo Y+)
$N_{\text{máx}}$	4,85T	5,16T
$V_{\text{máx}}$	3,02T	2,45T
$M_{\text{máx}}$	8,24T.m	6,40T.m

Para ambas direcciones, las fuerzas internas máximas surgen en las columnas del primer piso y se debe de indicar, que para el momento flector máximo, el valor máximo se obtiene en la parte inferior de la columna y en la zona de contacto con la platea.

De acuerdo a la Norma E030, las fuerzas de diseño para la dirección Y serán 1,25 veces los valores obtenidos (V y M) en la tabla 4, debido a que todos los pórticos en esa dirección superan el 30% de la fuerza cortante horizontal.

## BIBLIOGRAFIA

1. **Villarreal Castro Genner.** Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas. Asamblea Nacional de Rectores. Lima, 2006. – 125p.
2. **Villarreal Castro Genner.** Análisis de estructuras con el programa LIRA 9.0. Lima, 2006. – 115p.
3. **Villarreal Castro Genner.** Interacción suelo-estructura en edificios altos. Asamblea Nacional de Rectores. Lima, 2007. – 142p.
4. **Villarreal Castro Genner.** Análisis estructural. Lima, 2008. – 335p.
5. **Villarreal Castro Genner – Oviedo Sarmiento Ricardo.** Edificaciones con disipadores de energía. Asamblea Nacional de Rectores. Lima, 2009. – 159p.
6. **Villarreal Castro Genner.** Resistencia de materiales. Lima, 2009. – 336p.
7. **Villarreal Castro Genner.** Estática: Problemas resueltos. Lima, 2011. – 227p.
8. **Villarreal Castro Genner.** Resistencia de materiales I: Prácticas y exámenes USMP. Lima, 2012. – 206p.
9. **Villarreal Castro Genner.** Resistencia de materiales II: Prácticas y exámenes USMP. Lima, 2013. – 199p.

## INDICE

PROLOGO.....	03
PRACTICA CALIFICADA Nº 1.....	05
EXAMEN PARCIAL.....	28
PRACTICA CALIFICADA Nº 2.....	53
EXAMEN FINAL.....	74
BIBLIOGRAFIA.....	99